

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Drónokkal történő terepi felvételezés a precíziós mezőgazdaság elősegítésének céljából

SZAKDOLGOZAT

FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
TÉRKÉPÉSZ ÉS GEOINFORMATIKUS SZAKIRÁNY

Készítette:

Tóth Izsák

Témavezető:

Varga Zsófia

egyetemi tanársegéd

ELTE Térképtudományi és Geoinformatika Intézet



Budapest

2021

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	3
1.1 Célkitűzés	4
2. Drónok.....	5
2.1 Hajtás szerint.....	8
2.2 Szárny szerint	8
2.3 Propellerek száma szerint	9
2.4 Vezérlés szerint.....	10
2.5 Méret szerint.....	10
3. Szabályozás	13
4. A drónok alkalmazási területei	16
4.1 Katonai használat.....	17
4.2 Mezőgazdaság.....	17
4.3 Logisztika.....	19
4.4 Építőipar	20
5. Távérzékelési szenzorok.....	22
6. Precíziós mezőgazdaság	26
7. Saját terület drónnal történő felvételezése és kiértékelése.....	30
7.1 A saját terület bemutatása	30
7.2 A repülési útvonal megtervezése.....	31
7.3 Elkészült drónfelvételek előfeldolgozása.....	34
7.4 Multispektrális képek feldolgozása	38
8. Összegzés	46
9. Felhasznált irodalom	48
9.1 Ábrajegyzék.....	49
9.2 Táblázat.....	49
10. Köszönetnyilvánítás.....	50

1. Bevezetés

2018-as adatok alapján a Föld népessége 7,5 milliárd ember volt. Ez a szám folyamatosan növekszik és az ENSZ becslése szerint 2050-re eléri a 9,7 milliárd-ot, míg 2100-ra pedig már 11 milliárd ember fog élni a Földön.¹ Ennek több oka is van, hogy ilyen jelentős mértékben növekszik a népesség, ilyen például a technológia, valamint az egészségügyi ellátás fejlődése, emelkedett a várható élettartam és csökkentek a halálozási arányok is. És milyen következményekkel jár az, hogy a népesség folyamatosan növekszik? Többek között azzal, hogy 2017-ben 821 millió ember volt alultáplált, tehát minden 9. ember nem jut elegendő mennyiségű ételhez.² Az ételkészítés-ellátása csak újabb területek mezőgazdasági termelésbe vonásával oldható meg vagy a jelenlegi területeken folyó termelés intenzívitásával. Mivel az újabb területek csak korlátozva állnak rendelkezésre, ezért a jelenlegi területeinket kell effektívebben kihasználni és ebben játszik szerepet a precíziós mezőgazdaság. Vagyis modern technológiát használnak azért, hogy maximalizálni tudják a kitermelt termés mennyiségét. Ebben működnek közre a UAV-k (Unmanned aerial vehicle vagyis pilóta nélküli légi járművek), aminek köszönhetően azonnal fel lehet térképezni a szántóföldeket és különböző méréseket végezni, ami nagyban megkönnyíti a termelők munkáját, mivel egy élő képet tudnak kapni a termőterületükről, azonnal ki is tudják értékelni és a megfelelő lépéseket meghozni a termés védelmének érdekében.

Dolgozatom témájául a monitoring (felmérő) drónokat és ezek alkalmazásának lehetőségeit a precíziós mezőgazdaság területén témát választottam. Dolgozatom első felében ismertetem a drónok különböző csoportjait, valamint milyen szabályozások vonatkoznak azokra, akik drónt szeretnének reptetni, akár hobbi szinten is. Majd a továbbiakban a precíziós mezőgazdaság alkalmazásait és azon belül a drónok által biztosított lehetőségeket mutatom be az általam választott területen.

¹ <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html>
(Letöltési idő 2021.03.02.)

² <https://www.who.int/news/item/11-09-2018-global-hunger-continues-to-rise---new-un-report-says>
(Letöltési idő 2021.03.02.)

1.1 Célkitűzés

Dolgozatom céljával azt tűztem ki, hogy egy teljes drónos felmérést végzek el az általam választott termőföldön. Bemutatom, hogy a felszállástól a képek utófeldolgozásáig milyen feladatokat kell ellátni és az elkészült képekből, milyen adatokat lehet kinyerni, ami támogatja a termelőket, hogy milyen döntéseket hozzanak. Sajnos a jelenlegi pandémiás helyzet miatt nem volt lehetőségem az általam választott terület teljes felmérésére, így dolgozatomban nyílt forrású adatokon szeretném bemutatni a multispektrális kamerák felhasználási lehetőségeit a mezőgazdaságban.

2. Drónok

A pilóta nélküli repülőgépek angol elnevezéséből jön a UAV kifejezés mivel ezeket angolul Unmanned Aerial Vehicle-nek nevezik, ami „személyzet nélküli légi jármű” -vet jelent, ha lefordítjuk a kifejezést. „Technikai szempontból a drónokat sokan a pilóta nélküli repülőgépek közé sorolják, ugyanis teljesen önállóan képesek repülni a felszállástól a landolásig. Ha azonban ezt a meghatározást vesszük alapul, akkor ma a kereskedelemben kapható egyes négyrotoros multikopterek egyáltalán nem tekinthetők drónnak, csak távirányítású gépeknek” (Elliott, 2017, 10. o.). Ezért maga a drón elnevezés egy tág fogalom és napjainkban ide sorolunk minden olyat eszközt, ami rádióirányítású és repülésre alkalmas. Ezen ellentmondás céljából az Európai Unió (EU) 2019/945 számú rendeletben megalkotta azon szabályozást, mely egységesíti az UAV termékkategóriát, és inentől kezdve előírja, hogy csak GPS adóvevő egységekkel rendelkező termékeket nevezhetünk drónnak. Ez nem zárja ki a rádióirányítású egységeket, amennyiben van mellette ilyen adóvevő is, egyúttal ezzel lehetőséget teremt minden drón önálló, automata vezérlésére is.

A drónokat, mint számos más találmányt, először katonai célokra alkalmazták és sokan még most is a katonai használattal kötik össze őket, pedig napjainkban számos más területen is alkalmazzák, például kutatási, szórakozási, természetvédelmi célokra. Attól függően, hogy mennyire vesszük komolyan a pilóta nélküli légi jármű kifejezést két időpontra tehető a megjelenésük. 1849-ben az osztrák hadsereg használt léggömbökre szerelt bombát Velence ostrománál, viszont a szélesebb körben elfogadott nézet az, hogy megjelenésük inkább az 1890-es évekre tehető, amikor is Otto Lilienthal a felhajtóerő vizsgálatának céljából egy pilóta nélküli siklórepülő tervezésén dolgozott. A pilóta nélküli légi járművek fejlesztése együtt haladt a pilótával rendelkező gépekével, de a fejlesztések során felismerték, hogy a pilóta nélkülözhetetlen ezeken gépeken. Komoly áttörést hozott, amikor Lawrence Sperry a giroszkóp felhasználásával megteremtette az autópilótát, aminek köszönhetően a repülőgépek képesek voltak egyenes vonalban repülni. Ezzel egyidejűleg fontos fejlesztések zajlottak a rádiós irányítórendszerek fejlesztésében, ami jelentős hatótávnövekedést eredményezett. 1918-ban az első világháború idején a Charles Kettering kifejlesztett egy giroszkóp alapú repülőgépet, ami a rotorok bizonyos számú fordulata után lezuhant és felrobbant, mivel a motor fordulata alapján számolta a megtett távot A Kettering Bug, mint egy légi torpedó funkcionált.



2.1. ábra Kettering Bug modell (Greg Hume)

A két világháború közti időszakban a UAV-k fejlesztése megállt és csak a második világháború eljövetele hozta meg az áttörést a fejlesztésben. A náci Németországban számos fejlesztés indult, viszont mind közül a legismertebb a Vergeltungswaffe-1. A V-1 egy sugárhajtóművel felszerelt, pilóta nélküli rakéta volt. Hossza elérte a 7,74 métert, míg fesztávolsága 5,74 méter volt. A repülési magassága körülbelül 900 méter volt és hatótávolsága 322 kilométer lehetett.



2.2. ábra Vergeltungswaffe-1 (Amerika Egyesült Államok Légierője, USAF)

Természetesen a szövetséges erők is alkalmaztak ilyen légi járműveket, a legismertebb a TDR-1-es drón. Ez volt az első videóirányítású drón, rádió keresztül sugározta a képét és a

hatótávja is kétszerese volt a német V-1-nek, 684 kilométer. (Prisacariu, 2017) Viszont az irányítása egy kísérő gépből történt. Egy másik jelentős program az Afrodité projekt volt, melynek keretein belül B-17-es gépeket kívántak átalakítani pilóta nélküli gépekké úgy, hogy több tonna bomba szállítására is alkalmasak legyenek, viszont a projekt nagyon költségesnek bizonyult, ezért leálltak a fejlesztésével. Közvetlenül a világháború lezárása után leálltak a fejlesztések és csak a 60-as években térnek vissza a pilóta nélküli repülőgépekhez. Az amerikai Ryan Aeronautics Company vezető szerepet játszott a célpontdrónok gyártásában, így később a légi megfigyelésre is alkalmas drónok építésére kérték fel őket. Ezeket a gépeket alkalmazták a vietnámi háborúban, de 2003-ban még Irakban is bevetésre kerültek. A pilóta által vezetett gépek előtt repültek és főleg elterelési céllal, hogy a radarokat megzavarják, vagy a légvédelemi rakétákat el tudják hárítani. Ezek a fejlesztések, valamint a technológia folyamatos fejlődése vezetett a Predator elterjedéséhez. A Predator kezdetben egy megfigyelő drón volt, viszont később megjelentek a felfegyverzett változatai. Az Amerikai Egyesült Államok fejlesztette ki és több alkalommal bevetették több Közel-keleti ország felett is. Akár 7600 méter magasra is képes felemelkedni, 24 órán keresztül repülni és 1250 kilométeres hatótávval rendelkezik, ezért széles körben elterjedt a használata és a mai napig is alkalmazzák különböző célokra. A Predator drónoknak a továbbfejlesztett változata a Reaper drón, ami nagyobb hatótávval rendelkezik, magasabban és gyorsabban képes repülni, mint elődje. 2016-ra már több mint tíz ország használt felfegyverzett drónokat az Egyesült Államokon kívül, mint például Kína, Izrael, Irán és Pakisztán. (Elliott, 2017)

Az első pilóta nélküli repülőgép megjelenése, a rengeteg katonai fejlesztés és kísérletezés után csak idő kérdése volt, mikor fognak megjelenni a hobbi célú drónok a piacon. 2003-ban megjelent a Paparazzi UAV projekt, mely egy nyílt forráskódú repülésvezérlő rendszer. A nyílt forráskód hozzájárult ahhoz, hogy szélesebb körben elterjedjen, viszont maga a felület nem volt elég felhasználóbarát, így nagyban korlátozódott azoknak a száma, akik használták. Emellett az elterjedésének további gátat szabott a szenzorok magas ára. Az okostelefonok robbanásszerű fejlődése tette lehetővé, hogy olcsón hozzá tudjanak jutni az elég jó minőségű szenzorokhoz. (Elliott, 2017) Ezzel egyidejűleg megjelentek a piacon a nagyobb dróngyártó cégek is, közülük a globális vezető, a DJI (Da-Jiang Innovations) 2006-ban alakult start-up céggént. 2010-ben készült el egy másik nagyobb márka, a Parrot első ready-to-fly, azaz repülésre azonnal alkalmas drónja. a Parrot AR drónt Wi-Fi-n keresztül lehetett irányítani az okostelefonunk segítségével. 2013 decemberében az Amazon

bejelentette az Amazon Prime Air szolgáltatást. A szolgáltatás alapja az, hogy a drónok segítségével szállítanak ki a csomagokat. Ez egyelőre fejlesztés alatt áll, de nem az Amazon volt az első cég, ami a drónok ilyen célú felhasználásával kísérletezett, viszont ezzel a bejelentésükkel ők érték el, hogy a drónok bekerüljenek a köztudatba. 2016-ban a DJI bemutatta a Phantom 4-es drónját, ami egy új mérföldkő volt, mivel ez a típus már rendelkezett gépi tanulással és látással, így képes volt tárgyak kikerülésére, emberek, állatok vagy tárgyak követésére, ezáltal sokkal többre képes, mint egy GPS jel követése.

A drónokat a tulajdonságaik alapján meg lehet különböztetni, mivel nem mindegyik ugyanazzal a céllal készül, így mások a prioritások egyes dróntípusok között. Megkülönböztethetjük őket a propellerek száma, szárny, hajtás, vezérlés és méret szerint

2.1 Hajtás szerint

Hajtás szerint meg tudunk különböztetni robbanómotoros, valamint villanymotoros drónokat. Mindkét típusnak megvannak a maga előnyei és hátrányai. A villanymotoros modelleket könnyebb szerelni, alacsonyabb az alkatrészki költség és maga a drón is sokkal könnyebb, viszont az akkumulátort magával kell hordoznia és a repülési ideje is rövidebb. Ezzel szemben a robbanómotoros típusok nagyobb erőt tudnak biztosítani és nehezebb terhet cipelni, viszont mind a fenntartásuk, mind maga a drón drágább és felépítésük komplexebb. Vannak hibrid drónok is a piacon, ami mindkét meghajtást használja az effektívebb munkavégzésért.

2.2 Szárny szerint

Szárny szerint megkülönböztetjük a rotoros gépeket és a merevszárnyasokat. A merevszárnyas gépek miközben haladnak előre a szárnyak alatt felhajtóerő alakul ki, így maradnak a levegőben. Azaz a siklás fizikai előnyeit hasznosítják, minél nagyobb a sebesség, annál nagyobb a felhajtóerő nagysága. A gép mozgásához és a felhajtóerő kialakításához vonó-vagy tolólégcsavart alkalmaznak. A tolóhajtóművek a gép hátulján helyezkednek el, tolják előre a gépet innen kapva a nevet. Míg a húzóhajtóművek a gép elején találhatóak, aminek hatására húzni tudja előre. Ennek a módszernek kis mértékben nagyobb a hatékonysága, mint a tolóhajtóműveknek. A merev szárnyú gépek nagy előnye, hogy sokkal tovább tudnak a levegőben maradni és nagyobb terhelésére is alkalmasabbak. Viszont helyből képtelenek felszállni, a kopterekkel ellentétben, és nehezebben tudnak hirtelen irányt változtatni. (Elliott, 2017)



2.2.1. ábra Merevszárnyas és rotoros drón (Parrot)

2.3 Propellerek száma szerint

Ide sorolják az összes olyan drónt, ami nem merev szárnyal rendelkezik kezdve a hagyományos helikoptertől a többrotoros gépekig.

A helikopteren csak két rotor található, irányítását a lapátok állásszögének változtatásával érik el. A helikopter fő rotorja hozza létre a forgatónyomatékokot, viszont szükséges egy másik rotor, ami megakadályozza, hogy a géptest jobbra vagy balra dőljön. Ezért ennél sokkal hatékonyabb a multikopteres kialakítás. A háromrotoros gépeken három darab motort találunk és ezek a háromszög csúcaiban helyezkednek el, 120° -os szögben, így nem zavarva az előre néző kamerákat. A négyrotoros megoldás a leggyakoribb jelenleg a drónok között. Szimmetrikusan kereszt vagy x alakban helyezkednek el. A quadcopter kettő motorja óramutatónak megfelelően forog, míg kettő ellentétesen, így kiegyenlítve egymás forgató nyomatékát, ennek köszönhetően tud a megfelelő irányba haladni a drón, és a fordulatszám szabályozás révén képes kiegyenlíteni a dróntestet a szél változásaira reagálva. A hexacopterek, vagyis a hatrotoros drónokon hat motor található. Legnagyobb előnyük, hogy mivel közel vannak a motorok egymáshoz, ha egy motor meghibásodik még könnyen le lehet vele szállni. A professzionális fényképezésre használt drónok pont ezen tulajdonság miatt, valamint azért, mert nagyobb a teherbírásuk, hat vagy nyolcrotorosak. Az octocopterek vagyis a nyolcrotoros gépeken nyolc darab motor található meg. Ugyanúgy igaz rájuk, mint a hatrotoros gépekre, hogy könnyen navigálható még rotormeghibásodás esetén is, valamint nagy a teherbírásuk. (Elliott, 2017)

2.4 Vezérlés szerint

A legegyszerűbb mód a fizikai kapcsolat kialakítása a pilóta és a drón között például a kötéllel való irányítás, ugyanis ez nehezen hibásodik meg és egyszerű. Ezen elvet láthatjuk a sárkányoknál (kite).

A drónok esetén 3 fajta vezérlés terjedt el. A leggyakoribb mód az úgynevezett RC, vagyis rádióhullámokon keresztül történő irányítás. Ebben az esetben a gép kapcsolatban áll a pilótával, aki a nála lévő rádiós jeladón keresztül irányítja a gépet. Leggyakrabban 2,4 vagy 5 GHz-es tartományban kommunikálnak a drónok a jeladóval. A másik, az uniós szabályozásban is kiemelt, GPS vezérlés. Napjainkra a legtöbb drón rendelkezik GPS jeladó-vevő egységgel, mely segíti a helymeghatározást, de ez teszi lehetővé az automatikus vezérlést is. Az automatikus vezérlés lényege, hogy a drón egy előre megtervezett útvonalat repül le. Ezt az útvonalat egy alkalmazásban tudjuk berajzolni és megtervezni, mely során pontos helyrajzi (GPS) koordinátákkal, illetve magassági paraméterekkel rögzítjük a tervezett repülési útvonalat, előre beállítva az adott pontokon/avagy útvonalon elvégzendő feladatokat. Ebben az esetben a drón teljesen magától repüli végig a programozott utat, nincs szükség beavatkozásra a felszállástól a leszállás pillanatáig. A harmadik vezérlési megoldás, leginkább kiegészítő vezérlésként és kommunikációs feladatok ellátása céljából indult meg. Ez a WIFI vezérlés, azaz mikrohullámú jeladó-vevő egységét jelenti. Lehetővé teszi, hogy akár okostelefonnal, akár tablettel csatlakozzon a drón. Ezen eszközökről is lehetséges ezáltal a vezérlés, illetve a képi anyagok továbbítása.

2.5 Méret szerint

A méretek terén hatalmas eltérés van a drónok között. A legkisebb nano drónoktól a repülőgép nagyságú pilóta nélküli repülőig találhatunk különböző méretű drónokat. A legkisebb drón a piacon jelenleg az Axis Vidus drón, ami egy 16 grammos, kamerával felszerelt drón.



2.5.1. ábra Axis Vidus drón (peworld.hu)

Míg a legnagyobb drón, amit nem katonai célra használnak, a Freefly Alta 8, ami akár 12 kilogrammos teher megemelésére is képes. Katonai célra a legnagyobb pilóta nélküli légitánc a RQ-4 Global Hawk. Ez egy Rolls-Royce robbanómotorral felszerelt gép, ami képes 13 000 kilogramm rakomány szállítására. Végsebessége 629 km/h és 22 780 kilométer a hatótávja.



2.5.2. ábra Global Hawk (Amerika Egyesült Államok Légereje, USAF)

A korábbiakban hivatkozott Uniós szabályozás (kiegészítve az (EU) 2019/947 rendelettel), ezen irányban is igyekezett egy fix szabályrendszer kialakítására. Így egyelőre 3 méretkategóriát, A1, A2, A3, határoztak meg a jogszabályokban. Az A1-es kategória 900 g-ig terjed, de alkategóriaként elválasztja ettől a 250 g alatti súlyt, mely inntől kezdve játék kategóriaként funkcionál. Az A2-es kategória 900 g-4 kg-ig terjedő drónokat fogja össze, az A3-as kategória pedig a 4kg és 25kg-os gépeket. A különböző kategóriák eltérő szabályrendszert, ajánlásokat tartalmaznak. Ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy nincsenek a piacon ennél nagyobb méretű drónok is, de egyelőre ezek a korábbi repülőgépes szabály rendszerbe tartoznak még (nem a drónszabályozás alá) illetve, vagy csak katonai célú a felhasználásuk, vagy egyelőre nem engedélyezett a szabad felhasználásuk, csak kutatási céllal, avagy egyéb speciális engedéllyel (például permetező drónok)

A drónpiac folyamatosan fejlődik és növekszik. 2019-ben világszerte 18 milliárd dollár bevétel keletkezett a drónok forgalmazásából, ez szám 2025-re a 43 milliárd dollárt fogja elérni, több mint kétszeresére fognak nőni a bevételek a becslések szerint.³ Mivel a drónokat sok iparág használja, valamint a távérzékelési technológiák fejlődése révén egyre jobb

³ <https://www.statista.com/statistics/1200348/drone-market-revenue-worldwide/> (Letöltési idő 2021.03.18.)

teljesítményű és jobb szenzorokkal rendelkező drónokat tudnak készíteni, a drónokban és a drónpiacban hatalmas lehetőség van. Ráadásul ugyanezen fejlesztések az RPV (Remote Piloted Vehicle) technológiákkal is kiegészülnek, mely hasonló tudású önjáró szerkezeteket (autók, hajók) jelentenek. Ezen robotizáció, automatizáció pedig alapvető feladata, törekvése az Ipar 4.0 fejlesztéseinek eléréséhez.

3. Szabályozás

Az utóbbi időszakban a drónok használata jelentős mértékben növekedett köszönhetően az egyre gyakoribb ipari alkalmazásoknak, valamint a hobbi célú drónhasználat is hatalmas teret nyert. 2019 előtt nem volt külön szabályozása a drónhasználatnak, ezért a repülőgépes szabályrendszer vonatkozott rájuk is. 2019-ben jelent az Európai Unió korábban már említett 2019/945 és 2019/947 sz. rendelete, ami egy keretet ad lényegében a tagállamoknak a szabályozás kidolgozására. Előbbi, mint termék adott pontos szabályrendszert, illetve fogyasztóvédelmi előírásokat a drónokkal kapcsolatban, míg utóbbi a felhasználási területek szabályozását, ajánlásait foglalta össze. Mindkét rendeletben az alábbi elveket szerették volna érvényre juttatni: legyen kockázatalapú, arányos, illetve művelet központú. Minden tagállam szigorúbb szabályokat is hozhat a saját meglátása szerint, viszont az Európai Unió rendeleteivel szemben nem hozhatnak szabályokat. Valamint az EU által hozott rendeleteket közösen kell értelmezni a magyarral és céljuk a biztonságos drónhasználat biztosítása.

Hazai szinten 2021-re készült el az Uniós rendeletet kiegészítő, a pilóta nélküli légi járművekre vonatkozó szabályozás. Az új szabályozások 2021 február 10.-től léptek érvénybe és szabályozzák hazánkban a drónhasználatot. Az előző szabályozásokhoz képest az idén bevezetett változtatások sokkal szigorúbb keretek között engedélyezik a drónok felhasználását. Az 1995. évi XCVII. törvényt módosították, ugyanis konkrét dróntörvény, mely csak a drónokra, mint légi járművek vonatkozik, nem létezik.

A drónokat több különböző kategóriára osztották szét, ahogy ezt korábban már említettem. A nyílt kategória értelmében a drón mindössze 120 méter magasságig távolodhat el a földtől és az üzemeltetőnek folyamatosan figyelemmel kell kísérni bármilyen segédeszköz, mint például távcső, használata nélkül. Ez utóbbi leginkább azt jelenti a gyakorlatban, hogy mindig látótávolságon belül, azaz olyan 500 m-re távolodhat el az eszköz a pilótától. Embertömeg felett nem üzemeltethetőek, valamint az úgynevezett No Drone Zone-ban sem alkalmazhatóak. Az engedélyköteles kategóriába tartozik minden olyan drón, ami emberek fölött repül, árut vagy személyt szállít vagy tárgyak ledobása történik róla. Minden olyan drónt regisztrálni kell, ami nem játéknak minősül. De mi számít játéknak? Azok a drónok, melynek tömege nem haladja meg a 120 grammot, nem rendelkeznek semmilyen adatrögzítővel és a pilótától mindössze 100 méterre tudnak elrepülni. Tehát azokat a drónokat kell regisztrálni, amik az Európai Unió irányelvei szerint nem sorolhatók

játéknak, tömegük nagyobb, mint 120 gramm, rendelkeznek valamilyen adatrögzítővel vagy képesek 100 méternél messzebb repülni a pilótától. Ha a drónunkra igaz legalább az egyik feltétel regisztrálnunk kell.

A bejelentést és a regisztrációt az Innovációs és Technológiai Minisztérium felé kell megtennünk. A regisztrációt online, vagy postai úton tudjuk benyújtani. A drón és üzemeltető nyilvántartásba vétele esetén 2000 forintos díjat kell fizetnünk, adatok változtatása esetén is 2000 forintot kell fizetnünk, a nyilvántartásból való törlés esetén 1000 forintot, míg az igazolás kiállításáért a nyilvántartásba való vételről 4090 forintos díjat kell kifizetnünk.

A légtérhasználatot eseti légtér használati kérelem benyújtása után használhatjuk. Adott esetekben például, ha a terület a sajátunk, 50 m magasságig nem kötelező a légtérhasználatot bejelenteni lakott területen kívül. Vannak olyan területek, mint a korábban említett No Drone Zone, ahol csak eseti légtér megléte esetén üzemeltethetjük drónunkat. Továbbá vannak olyan légterek, amik csak átmenetileg, vagy időszakosan vannak lezárva, illetve olyanok, melyekre korlátozottan adható ki engedély, avagy teljesen tiltott területek. Korlátozott területek általában az ipari, minisztériumi, hadügyi, közüzemi területek (autópályák, vasút, elektromos és gázvezeték hálózatok stb.), nemzeti parkok és természetvédelmi területek, de speciálisan kezelendők a kórházi területek, és a repülőterek is. Az előbb említett területek sokszor a 'No Drone Zone' területek közé lettek sorolva. Míg a tiltott területek a hazai nukleáris létesítmények légterei, azaz a Paksi Atomerőmű, a KFKI Csillebérci Telephelye, (és a BME Oktatóreaktora). A Mydronespace nevű mobilalkalmazással tudjuk követni a légtér használatát, illetve mutatja a 'No Drone Zone', a korlátozott és tiltott területeket. Az applikáció meteorológiai adatokkal is segíti a biztonságos repülést. Adott tervek szerint idővel egyesítheti a légtérhasználati engedélykérést a regisztrációs-, és biztosítási adatokkal összekapcsolva.

A lakott terület felett való repülés esetén eseti légtér használati kérelmet kell tehát igényelni, ami az előző években is kötelező volt, viszont ez is változott az idei évben. Legfeljebb 7 nappal a légtér használat előtt be kell nyújtani a Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály felé.

A drónokra biztosítást is kell kötni. Attól függ a biztosítás, hogy mekkora tömegű drónt és milyen felhasználási céllal szeretnénk üzemeltetni. 250 gramm alatti drónokra nem kell biztosítást kötni, viszont az ennél nagyobb tömegű drónok esetén kötelesek vagyunk. A

biztosítást megköthetjük alkalmanként vagy folyamatosan. Itt jelenleg nagy a szórás a díjak között és az összeg a százezres nagyságrendtől a több millió forintig terjedhet. A biztosítás meglétét sokszor már az elsőre említett regisztrációs folyamat is igényli, így ezt akár egyszerre érdemes elintézni. Idővel itt is láthatunk egy olyan megközelítést, hogy kialakul egy éves szintű kötelező biztosítás (mint a közúti közlekedés esetén), illetve adott műveletekhez előírt plusz biztosítás, melyet alkalmanként kell befizetni. A díjak függenek a drón méretbeli kategóriájától, illetve a művelet céljának kockázataitól. Így például egyazon méretű drón lakott területen kívüli monitoring céllal való használata kisebb díjú, mint ugyanez egy rendezvény felett média céllal. Jelenleg a Generali, illetve a Groupama Biztosító kínál drónbiztosítást.

A fentiek mellett, adott felhasználásra csak bizonyos szintű “jogosítvány” megszerzése után kaphatunk engedélyt. A kisebb kategóriánál egy e-learninges kurzus is elegendő lehet, míg más felhasználási cél/avagy nagyobb kategóriák esetén nagyobb repülési gyakorlatot is biztosító alap-, vagy felsőbb szintű jogosítvány megszerzése kötelező.

Azok, akik nem tartják be a szabályokat a rendőrség, vagy a légiközlekedési hatóság indít eljárást. Bíróság járhat a jogosítvány nélküli reptetésért, vagy a regisztráció kihagyása miatt, a tiltott légtérhasználat miatt, az engedély nélküli felvételek készítése esetén, illetve amennyiben balesetet/kárt okozunk.

A szigorú szabályozások célja a biztonságos drónhasználat, hogy a drónpilóta rendelkezzen megfelelő szaktudással és ne veszélyeztesse az embereket, a művi kialakításokat, vagy más légitárműveket. Véleményem szerint a fentebb bemutatott szabályozási irányok hasonlítanak a gépjármű, avagy kerékpár üzemeltetés szabályaira: azaz a felhasználó felelőssége inentől kezdve, hogy megfelelő eszközt használjon, megfelelő karbantartás és ismeret mellett (mint a forgalmi engedély, avagy műszaki vizsga), az eszköz egyedileg azonosítható legyen (mint egy alvázszám), a pilóta rendelkezzen jogosítvánnyal és ismerje a most kialakuló “KRESZ” szabályokat. (legter.hu⁴)

⁴ Drón törvény 2021 – érthetően szakértőktől <https://legter.hu/blog/dron-torveny-2021-erthetoen-szakertoktol/> (Letöltési idő 2021.04.03.)

4. A drónok alkalmazási területei

A drónok napjainkban hatalmas népszerűségnek örvendenek. Felemelkedésük több tényezőtől tevődik össze. A legnagyobb előnyük, hogy manapság már igen jó minőségű képeket tudnak készíteni adott területekről. A legtöbb modell már rendelkezik legalább GPS kapcsolattal, ezáltal nagyon pontosak. Lehetőség nyílik előre beprogramozott utak, vagy adott terület körüli repülésre. A legtöbb drónnál törekednek a gyártók arra, hogy minél kompaktabb gépet építsenek, így a felhasználók akár egy hátizsákban is el tudják vinni magukkal és könnyen tudják beüzemelni. A piac jelenlegi legnépszerűbb darabja a DJI által gyártott Mini 2-es. Maga a drón 249 gramm és könnyen összecusukható, így magunkkal tudjuk szállítani szinte bárhova. 12 megapixeles kamerájának köszönhetően pedig akár 4k videók felvételére is képes. Mindezt egy elérhető áron, így érthető, hogy miért nő a dróneladások száma, valamint miért válnak egyre többen dróntulajdonosokká. A leendő vásárlók már számos gyártó modelljei közül tudnak választani, hogy megtalálják a számukra megfelelő darabot.

Felhasználási területeik is bővültek az elmúlt évtizedben. Számos iparág tudja kihasználni a drónok által biztosított előnyöket, így nem meglepő, hogy a mezőgazdaságtól kezdve az építkezésig találkozhatunk drónokkal. De a fotográfusok, filmesek, média- és marketing szakemberek is előszeretettel használják ezeket az eszközöket munkájuk során. A hobbi szintű felhasználók száma is, akik csak érdeklődnek a fényképezés iránt, vagy csak kíváncsiak milyen lehet egy drónt reptetni, folyamatosan növekszik.



4.1. ábra Drónok alkalmazási területei

4.1 Katonai használat

Az emberek a drónokat még mindig gyakran a katonai és rendvédelmi használattal kötik össze. Habár a köztudat egyre jobban elfogadja a drónokat és nem negatív jelzővel köti össze, még mindig az egyik legjelentősebb felhasználó a hadsereg. A technikai fejlődésnek köszönhetően már elég alacsonyak a drónok költségei, valamint könnyen bevethetőek olyan területeken, ahova nem küldenének pilóták. Háromfajta drónt lehet megkülönböztetni a katonai használatban: stratégia, operatív, valamint taktikai. A stratégia drónokat hosszú távú felderítések, illetve logisztikai feladatok alkalmával szokták alkalmazni. Ilyen típus például a korábban említett Global Hawk. Operatív drónok a Predator, illetve Reaper drónok. Ezek a drónok használhatók felderítési, illetve akár támadási célokra is. A taktikai drónok alacsonyan repülő, kis hatótávval rendelkező drónok, amiket a rendfenntartó erők szoktak alkalmazni a fejlett országokban, például határ megfigyelési céllal. Láthatjuk, hogy a drónok többségét információszerzési célból alkalmazzák. Mivel így képesek megfigyelni az ellenséges csapatokat, területeket és képesek feltérképezni, így segítve akár a földi egységeket. A brit hadsereg alkalmazott először pilóta nélküli repülőket, de napjainkban az Egyesült Államok veti be legtöbbször drónjait. Jelenleg 95 olyan ország van, aki rendelkezik katonai drónokkal, míg 10 évvel ezelőtt még csak 60 ország rendelkezett ilyen eszközökkel. De itt kiemelném azon kritikákat is, melyeket napjainkban például az USA tesz Kína felé, hogy nem ellenőrzi megfelelően a harci drónok eladásait, azaz bármely gerillaszervezet bármennyi ilyen tudású eszközt beszerezhet. Ebből is látszik, hogy a drónok szerepe megnőtt és sokan úgy vélik, hogy a jövő hadviselésében elengedhetetlen szerepet fognak játszani a pilóta nélküli repülők. (Mahadevan, 2010)

4.2 Mezőgazdaság

Mivel a dróntechnológia mellett a távérzékelési szenzorika és módszertan is robbanás szerűen fejlődik, így ezen tudományterület újabb felhasználói területekkel bővíti a drónhasználatot. Az új felhasználók elsősorban ipari alkalmazási megoldásokra keresik ezen eszközöket, a felhasználás célja pedig a szenzorikától függően (pl. termális, LiDAR, optikai) igen sokoldalú lehet. Napjainkra inkább a monitoring cél dominál, melyből egyre több automata vezérlés is születik, illetve kezdenek megjelenni a komplexebb, beavatkozási feladatokat is ellátó megoldások. Ezen felhasználók közül például a legtöbb szakember a globális mezőgazdaság egyre nagyobb súlyát emeli ki. Ugyanis a mezőgazdasági termelőknek gyors, valós idejű és pontos adatokra vannak szükségük ahhoz, hogy időben fel

tudjanak lépni valamilyen probléma ellen. Ebben segít nekik a drón, mivel ezzel egy időben szinte bármikor bevethető távérzékelési adatgyűjtési eszközt tudnak használni. Az időben kötöttebb műholdas adatgyűjtési megoldásokkal szemben azonnal fel tudnak vele szállni és attól függően milyen kamerával van felszerelve a drón fel tudják mérni milyen állapotban vannak a növények, mekkora vadkár keletkezett, mennyire gyomosodik a szántóföld területe, de akár a tápanyag ellátottságot és a stresszállapotot is képesek felmérni. A mezőgazdasági drónok többsége többcsatornás, multispektrális kamerával és/vagy termális érzékelőkkel van felszerelve. Ezeknek a felvételeknek köszönhetően a szakemberek számos spektrális indexet dolgoztak ki, melyek segítségével felmérhető a növények egészségi állapota. A távérzékelési szenzorok révén megállapítható, hogy a termőföld elegendő mennyiségű vízzel rendelkezik-e, de előre jelezhető a belvízkár, az aszálykár, a fagykár is. A drónoknak köszönhetően már korai stádiumban előre jelezhetőek a növényi betegségek és a kártevők elszaporodása is, akár még abban a stádiumban mikor szabad szemmel nem mutatkoznak “tünetek”, így időben fel tudnak ellenük lépni megakadályozva ezzel, hogy komolyabb kárt tegyenek a termésben, avagy nagyobb területet érintsen. Az előbbieket mellett a precíziós mezőgazdasági megoldások célkitűzései is egyre inkább a drónok használatának bővülését segítik elő. (Jeongeun et al, 2019) Eszerint, ha folyamatosan monitorozom a területeket, növényállományt, úgy a gazdálkodó mind időben, mind területileg diverzen tud beavatkozni, ezzel növelve a hatékonyságot, csökkentve a környezetterhelést, miközben a hozam adatokat változatlanul magasán igyekszik tartani. De nem csak az információszerzésben, feltérképezésben vesznek részt a drónok. Mára már több gyártó is készít permetező drónokat, melyek célja szintén az lenne elsődlegesen, hogy megfelelő időben, akár foltszerűen gyorsan bevethetőek, illetve olyan területekre is képesek eljuttatni a kívánt vegyszert, amely nehezebben megközelíthető a mezőgazdasági haszongépjárműveknek vagy adottságok, vagy a növényi fejlettség miatt. Például a DJI által gyártott Agras T20-as permetező drón akár 20 liter műtrágyát vagy növényvédő szert tud magával szállítani és egy óra alatt 12 hektárnyi területet képes lepermetezni a gyártó szerint. De akár elkezdődtek azok a fejlesztések is, melyek révén repülő vagy önjáró szerkezeteket alkalmaznak a betakarítás során. Ilyen például a gyümölcsstermesztést segítő FAR, vagyis flying autonomous robot, ami gyümölcszedésre lett kialakítva, de indult már paprika betakarítást végző robotfejlesztés is. Ezek a robotok AI algoritmusokat használnak arra, hogy felismerjék a gyümölcsöt, így le tudják szedni a termést egy robotkar segítségével a fáról. Ugyanúgy algoritmusokat használva tudnak teljesen automatikusan működni a nap

bármely részén. Emellett folyamatos jelentést adnak a gyümölcs állapotáról, érettségi fokáról, minőségéről és mennyiségéről a termelőnek. (Tang et al, 2020)



4.2.1. ábra DJI Phantom 4 multispektrális drón (DJI)

4.3 Logisztika

A korábbi példákat ugyan a mezőgazdasági felhasználók szempontjából mutattam be, de hasonló elvekkel dolgoznak az ipari megoldások is. Ezeket tehát monitoring megoldásoknak nevezném. A beavatkozásra is képes drónok közül mutattam pár mezőgazdasági irányt. Ezen szegmensben sokat a szállítmányozást (illetve katasztrófavédelmet) emelték még ki, ahol szintén jelentős szerepet játszhatnak majd idővel a drónok. Nem csak a korábban említett Amazon tervre utalnék itt, melyben UAV-eket használnának a csomagok kiszállításához. Hanem például a Wing nevű cég már 2012-ben elindította azon programját, melynek keretein belül a 1,5 kilogrammnál kisebb tömegű csomagokat drónokkal kívánták kiszállítani. A megrendelőknek nem is kell közvetlenül a drónokkal érintkezni. A Wing volt az első cég, ami megkapta a légifuvarozó minősítést az Egyesült Államokban. Az Amazon drónok már képesek 2,2 kilogrammos csomagokat is magukkal vinni, és a cég 2020 augusztusában megkapta a FAA (Federal Aviation Administration) engedélyét, így teljesen automatikusan, pilóta nélkül szállíthatják a csomagokat. A UPS Flight Forward volt az első vállalat, amely megkapta az amerikai kormány teljes igazolását egy drónos légitársaság üzemeltetéséhez. 2019-ben összefogtak a Matternettel azért, hogy egy észak-karolinai kórházba gyógyszert tudjanak szállítani. 2020-ban a CVS gyógyszercéggel kötöttek együttműködést melynek keretén belül vénymentes és kötelees gyógyszereket tudnak kiszállítani.



4.3.1. ábra UPS Flight Forward (UPS)

A Flytrex nevű vállalat is teljesen automatikus szállítást kínál a kiskereskedőknek, éttermeknek, webáruházaknak és szállítványozási cégeknek. A Flytrex drónok képesek akár 10 kilométert is repülni és elszállítani a csomagot. A Wingcopter nevű német vállalat is nyújt kereskedelmi szolgáltatást, de emellett szintén szállítanak gyógyszereket is. Kapcsolatban állnak az UNICEF-fel is, és vakcinákat szállítanak Vanuatuba a Csendes-óceán déli részén. Írországban ők kiviteleztek először az első inzulin szállítást úgy, hogy a drón bvlos (Beyond Visual Line of Sight) volt, vagyis nem volt látótávolságon belül a drón az üzemeltetés során. A 2014-es alapítású Zipline cég célja, hogy minden embernek gyors hozzáférést tudjanak nyújtani orvosi ellátáshoz. Jelenleg már túl vannak több mint 100 000 szállításon. Az UPS mellett a másik nagy szállítványozási cég a DHL is alkalmaz drónokat. A DHL Parcelcopter 2013-ban szállt fel először. 2018-ban Kelet-Afrika területén használták, a 37 kilométeres távot 40 perc alatt tette meg és a hat hónapos periódus alatt körülbelül 2200 kilométert repültek a drónok. (practicalecommerce.com⁵)

4.4 Építőipar

A hadiipar, mezőgazdaság, szállítványozás mellett az építőipart is szeretném kiemelni. Az építőiparon belül is egyre nagyobb szerepet kapnak a drónok. Egyrészt mivel kevésbé elérhető és veszélyes területre is be lehet őket navigálni adatgyűjtési céllal, így nem kell emberi életet kockáztatni. Illetve egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a LiDAR és termális érzékelőkkel felszerelt drónok. Kamerájuknak köszönhetően könnyen lehet az adott területről, épületről, művi létesítményről egy 3D-s modellt készíteni. Alkalmazzák őket a tervezéstől kezdve az átadásig, ezzel is gyorsítva a tervezési-, kivitelezési munkákat. A

⁵ 8 Commercial Drone Delivery Companies <https://www.practicalecommerce.com/8-commercial-drone-delivery-companies> (Letöltés ideje 2021.03.10.)

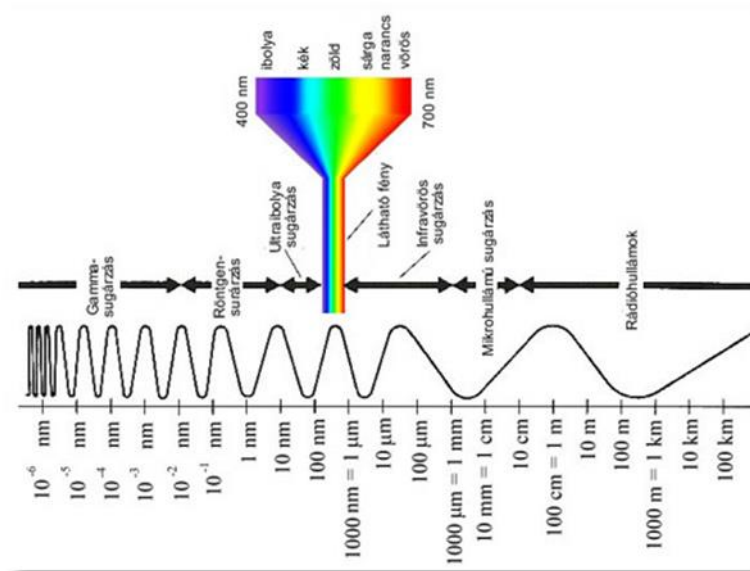
drónokkal történő mérés gyors, pontos és bármikor megismételhető. Nagymértékben segítik az épületgépészeti-, épületenergetikai monitoring megoldásokat (például termális érzékelőkkel szerelt drónok), avagy a statikai monitoring megoldásokat (LiDAR érzékelőkkel).

Végül, de nem utolsó sorban a légi fényképezés és filmezés a drónok egyik leggyakoribb felhasználási módja. Mivel sokkal költséghatékonyabbak, mintha egy pilóta által vezetett helikopterből csinálnának felvételeket. A mozifilmek gyártása során is használnak drónokat, mivel azon felül, hogy olcsóbbak megvan az az előnyük, hogy közelebb lehet vele repülni például a talajhoz.

A fenti bemutatás ugyan csak ízelítő, azt szerettem volna kiemelni, hogy a drónok adta lehetőségeket egyre több iparág kihasználja. Több kisebb, avagy részfolyamatban vesznek részt, aminek hatására gyorsabban, pontosabban és biztonságosan lehet elvégezni az adott munkát. Gyorsaságuknak köszönhetően azonnal alkalmazhatók és szinte bárhol bevethetőek, így nem meglepő, hogy egyre több iparág kezdi el alkalmazni őket, legyen az akár egy logisztikai központ vagy akár egy szállítmányozó, egy gazdálkodó, avagy egy építész.

5. Távérzékelési szenzorok

A precíziós mezőgazdaságban a drónokra szerelt kamerák elemi feladatot látnak el. Ugyanis a kamera a drón, valamint a pilóta „szeme”, mindazonáltal a kamera felelős az információk gyűjtésére. A feltérképezés, megfigyelés során több fajta távérzékelési kamerát használhatunk, melyekkel drónunk akár már felszerelt, avagy pluszban csatlakoztatható az adott művelet céljából. A szenzorok az egyre nagyobb fejlesztések révén mind nagyobb geometriai felbontást, mind sokoldalúbb felhasználást tesznek lehetővé. Adott szenzorok beépítése nemcsak a felvételezést segíthetik, hanem a biztonságosabb repülést is tovább javítják (például távolságmérő szenzorok révén bővülnek a drónok geofencing funkciói).



5.1. ábra Az elektromágneses spektrum felosztása (Mindentudás Egyeteme)

A távérzékelési szenzorokat az elektromágneses sugárzási spektrum adott spektrális tartományát detektálják, és különböző módon csoportosíthatjuk őket. Először is különbséget teszünk a passzív és aktív szenzorok között. „A passzív szenzorok nem rendelkeznek saját sugárforrással. Természetes eredetű elektromágneses sugárzásokat érzékelnek, amelyek forrása általában a visszavert napfény vagy a tárgy által spontán kibocsátott sugárzás. Klasszikus példájuk a fényképezőgép, amely egy filmre felvitt fényérzékeny rétegre rögzíti a tárgyról érkező sugárzás intenzitásának térbeli eloszlását. További példák: a multispektrális szkennerek, a termális szkennerek vagy a mikrohullámú radiométerek. Az aktív szenzorok saját sugárforrással rendelkeznek. A tárgy passzív, a szenzor a kibocsátott sugárzás visszavert részét érzékeli. Idetartoznak például a radarok (RADio Detection And Ranging) vagy a lidarok (LIght Detection And Ranging). Az előbbieket a mikrohullámú, az

utóbbiak az ultraibolya, látható és az infravörös tartományban érzékelő műszerek.” (Belényesi et al, 2013, 10. o.) A felvételeket csoportosítani tudjuk a spektrális felbontás alapján, amit a csatorna számuk is mutat. Egyes megközelítés szerint így megkülönböztethetünk optikai, avagy termális szenzorokat. Az optikai szenzorok a ~200 nm-től 2500-3000 nm-ig terjedő érzékenységgel rendelkeznek, míg a termális szenzorok inkább 7000-8000 nm-nél. Az optikai szenzorokon belül további alcsoportokat találunk érzékenységük, csatorna számuk alapján.

A pánkromatikus szenzorok egy csatornát lefedő felvételeket képesek készíteni. A felvételek szűk, pár száz nanométeres hosszúságú tartományt érzékelnek. Ilyen felvételeket készítenek napjaink modern műholdjai is, mivel meg van az az előnye ezeknek a képeknek, hogy sokkal nagyobb geometriai felbontást tudnak biztosítani, mint multispektrális társaik. A SPOT-1-es műholdon pánkromatikus, valamint multispektrális kamera is található. A pánkromatikus kamera a műholdon a 510–730 nm-es tartományban dolgozik és felbontása 10x10 méteres, míg társának 20x20méter, tehát a geometriai felbontás kétszer akkora. A 2001-ben fellőtt QuickBird műhold is rendelkezik ilyen kamerával. Egy pixel nagysága egy 60x60 centiméteres valóságos területet fed le, míg multispektrális kamerával készült felvételnek egy pixelje 2,4x2,4 méternyi területet. A pánkromatikus képek általában egy fekete-fehér képnek tűnnek, ugyanis a látható fény tartománya gyakran hasonló, mint az a tartomány, ahol a szenzor működik, így a kapott képek úgy néznek ki, mint egy „fekete-fehér” fotó az űrből készítve. A szenzor a vizsgált objektum fényességét vizsgálja, így elvésznek a képen az olyan spektrális információk, mint az objektum „színe”. A nagyon nagy felbontású (VHR) pánkromatikus képeket a mezőgazdaságban a talaj vizsgálatára használják. (Neigh et al, 2018.) Például a termőföld kalcium tartalmának meghatározására ezzel a módszerrel sokkal effektívebben elvégezhető, mintha multispektrális felvételekből szeretnénk elvégezni.

Az RGB kamerák 3 csatornát érzékelnek a látható fény tartományában. A legtöbb drón nagyfelbontású RGB kamerákkal van felszerelve, mely lassan alapfelszereltségnek számít még egy tenyérnyi drón esetén is.

A multispektrális szenzorok olyan képet készítenek, ami több hullámhossztartományt fed le az elektromágneses tartományon belül. A hullámhosszokat vagy filterekkel vagy pedig maga az eszköz különböző detektora révén választja szét, azaz egyszerre több detektor egyazon objektumról, egyazon időben készít felvételt. A szenzor a legtöbbet a látható fény tartományában észleli, de emellett az infravörös és ultraviola tartományában is képes az

adatok rögzítésére. Katonai célra lett kifejlesztve, de napjainkban egyre gyakrabban alkalmazzák a meteorológiában, a növényi populációk és egyéb földtani vagy biológiai kutatások során és a mezőgazdaságban is.

A hiperspektrális szenzorok akár 100 sávban is képesek érzékelni, azaz akár száz detektor, szűk spektrális tartományban készíti el a felvételeket ugyanabban a pillanatban. A hiperspektrális szenzorokat kezdetben az égitestek érzékelésére fejlesztették ki, mivel így vizsgálhatóvá váltak a geokémiai tulajdonságok is. A szenzor a 0,4-2,5 μm sávban gyűjt adatot. Ezen szenzorral főleg a növény és a talaj biofizikai és biokémiai jellemzőit lehet vizsgálni. Viszont még nagyon magas áron érhetőek el, így kevés helyen alkalmazzák jelenleg.

A távérzékelés során a multi-és hiperspektrális kamerák felhasználásának elve, hogy a vizsgált objektumoknak egy úgynevezett jól azonosítható spektrális ujjlenyomata van. Ennek fizikai alapja, hogy az elektromágneses sugárzás anyaggal érintkezve eltérően viselkedik (reflektálódhat, transzmittálódhat, avagy abszorbálódhat), és mindez az anyagtól függ. Így a távérzékelési szenzorok által detektált reflektált energia az anyagoktól függően változik, azaz egyedi, megkülönböztethető fényvisszaverési görbéje van a különböző felszíneknek, a növényeknek, a vízfelszínnek stb. Ezen egyedi görbék változásai pedig adott biokémiai-fizikai változást is előre jelezhetnek. A fentiek mellett egyre több spektrális indexet is alkalmaznak a gyakorlati kutatások során. Ekkor különböző hullámhossztartományok matematikai algoritmusaival indexeket állítunk elő, és ezek változásait vizsgáljuk. A spektrális indexekre számos jelenlegi kutatás fókuszál, ilyenkor az adott index adott szempontú korrelációját vizsgáljuk. Számos spektrális indexet használ napjainkra a gyakorlat, például adott index jól korrelál a növényzet klorofill, ezáltal egészségi állapotára (nitrogén ellátottságára, stresszhelyzetekre, vízellátottságra, betegségekre) utal.

Ezen módszerek mezőgazdasági használatával felmérhető a növények állapota, de alkalmas a talaj vizsgálatára is. Megállapítható a növényi kártevők és betegségek jelenléte, időbeli terjedése a termőföldön. Felderíthető hol található kevesebb tápanyag a földben, így csak az adott területre koncentrálva a műtrágyázást. Képes megszámlálni a növényeket, így információt szolgáltat a gazdáknak az agrotechnikai munkák értékeléséhez, avagy a várható termésmennyiség becsléséhez. Az öntözést is figyelemmel lehet kísérni, valamint megállapítható, ha túl sok, vagy túl kevés mennyiségű víz halmozódik fel egy területen. Egyre több kutatás pedig a beltartalmi paraméterek további vizsgálatait célozzák.

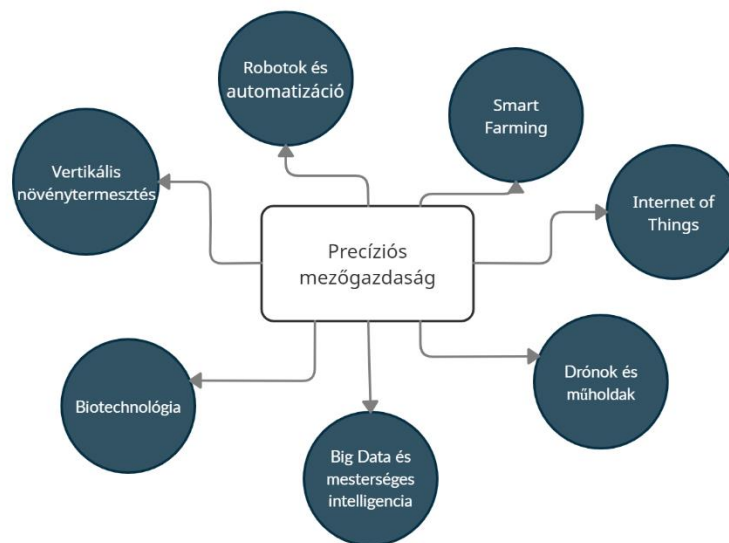
A termális szenzorok az infravörös tartományban észlelik a sugárzást. Mivel az infravörös sugárzást minden olyan objektum kibocsátja, amelynek hőmérséklete az abszolút nulla fölött van, a feketetest-sugárzás törvénye szerint, így képesek vagyunk minden objektum ilyen jellegű nem látható kisugárzását érzékelni. A termális képalkotás eltér az optikai szenzoroktól abban a tekintetben, hogy itt a kibocsátott (emittált) energiát érzékeljük, míg az előző módszereknél a visszavert (és emittált) sugárzást. A termális érzékelők, azaz a hőkamerák alkalmazásával látható a növények felszínhőmérsékleti változása térben és időben. Alkalmazzák a növényपालánták fejlődésének figyelésére, az öntözés ütemezésénél, a talaj sótartalmának növényi stresszhatásainak, illetve a betegségek és kórokozók előrejelzésekor, de a hozambecslés során is fontos adatokat ad. Nagy előnye, hogy napszaktól függetlenül is alkalmazni tudjuk, így akár éjszaka is használható mérésekre. (Ishimwe et al, 2014)

A LIDAR (Light Detection and Ranging) és radar szenzorok az általuk kibocsátott sugárzás visszaverődését fogják fel, így képesek a visszaverő felület távolságának meghatározására. A radarral (mely többnyire mikrohullámú tartományban “dolgozik”) ellentétben a LIDAR az ultraibolya, látható fény, és az infravörös tartományában képes működni. Alkalmazásuk révén felszínmodelleket tudunk készíteni, így képesek vagyunk a terület pontos magassági és térfogati adatainak meghatározására. Így alkalmas a termés hozam, növénytömeg, növénymagasság és tökehiány becslésére is. A gyomkeresés területén is egyre többször kezdik alkalmazni, ugyanis a levélforma alapján képes megkülönböztetni a gyomokat. Emellett fontos szerepet játszik a mezőgazdasági gépesítés automatizált rendszereiben, fejlesztéseiben. Számos olyan kutatás-fejlesztés indult meg, mely a radar, avagy LIDAR segítségével igyekszik a betakarítást automatizálni (például az elkészült szénabálákat összegyűjteni, felismerni a paprikát és leszedni stb.).

A precíziós mezőgazdaság számos különböző távérzékelési szenzort használ különböző felhasználási céllal a talaj vizsgálatától kezdve a növényekig. Ezeket a szenzorokat azért alkalmazzák, hogy növelve a hatékonyságot a termelés költségét csökkenteni tudják, miközben a termés mennyisége nő, avagy változatlan. A szorosabb kontroll lehetővé teszi az időben pontosabb, adekvátabb, területileg diverzebb célzott beavatkozást, mely a környezet terhelést is csökkenti.

6. Precíziós mezőgazdaság

A termelők a 80-as évek második felében felismerték, hogy a mezőgazdaság “válságban” van. Ennek oka, hogy az intenzív mezőgazdasági módszerek révén elért magas termésátlagok érdekében jelentős energiabefektetésre volt szükség. Ez alatt érthetjük a például az üzemanyag felhasználást, de éppúgy a műtrágyázás szükségességét is. Ezek a módszerek, illetve tevékenységek azonban hosszú távon nehezen fenntarthatóak, és jelentős környezeti károkat okoznak.



6.1. ábra Precíziós mezőgazdaság

Prof. Dr. Tamás János szerint a globális problémák mellett Magyarországon lokális problémák is jelen vannak. „Magyarországon Európában példátlan módon, igen nagy gyakorisággal cserélt gazdát a teljes nemzeti földvagyon. Nyugat-Európa legtöbb területén, több nemzedéken keresztül műveli azonos gazda a birtokát vagy bérelt területét. Hazánkban 10 év alatt 1,5 millió új tulajdonos kapta vissza birtokát, és az évtizedeken húzódó tulajdonlás és elodázhatatlan birtokrendezés egyszerre folyik.” (Tamás, 2002, 3. o.) Általánosságban ebből adott esetben egy elaprózott, technológiailag fejletlen, előregedett növényállomány, avagy degradálódott (sokszor egyéb szennyezővel terhelt) talaj jellemezte a hazai mezőgazdaságot. A több megoldási kísérlet közül az egyik lehetőség, a precíziós mezőgazdaság lehet, ami kombinálja a modern technológiákat a mezőgazdasággal.

Bár itt fontos megjegyezni, hogy ezen technológiákat bizonyos “fejlettségi szint” mellett gazdaságos alkalmazni (például precíziós gyümölcstermesztés ültetvényjelleg mellett ajánlott, így előbb ezt célszerű elérni).

Ez a fogalom az 1980-as évek második felében jelent meg, elsőként az Egyesült Államokban. Már egy 1992-es minnesotai konferencián beszámoltak a termelési mód előnyeiről, azonban megjelenéséhez elengedhetetlen volt a térinformatika és távérzékelés jelentős fejlődése.

A hagyományos és a precíziós mezőgazdaság közötti legnagyobb különbségeket az alábbi táblázat mutatja be.

Hagyományos mezőgazdaság	Precíziós mezőgazdaság
<ul style="list-style-type: none"> ❑ Mezőgazdasági kezelési és szervezési egység a mezőgazdasági tábla, amelyet homogén termőhelyi tulajdonságúnak fogadunk el. ❑ Átlagolt mintavételezésen alapuló tápanyag gazdálkodás ❑ Átlagolt növényvédelmi kárfelvételezés és beavatkozás ❑ Azonos tőszám, fajta ❑ Homogén vízgazdálkodás ❑ Azonos gépüzemeltetés ❑ Táblaszinten egységes növényállomány térben és időben ❑ A gazdasági értékelés alapja a táblaszintű átlagtermésen alapuló költség / jövedelem viszonyok ❑ A döntési alternatívák száma az elemzés során viszonylag kevés, amely a térbeli összefüggéseket korlátozottan képes figyelembe venni ❑ Információs és kommunikációs eszköztár részfeladatokat támogat 	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Mezőgazdasági és szervezési egység a termőhely, amelyet pontról-pontra eltérőnek és táblaszinten heterogénnek fogadunk el ❑ Műholdas helymeghatározás alapú pontszerű mintavételezés és adatgyűjtés (talajállapot, növényállapot) ❑ Geostatistikai interpolálás alapján „homogénként” lehatárolt táblán belüli termőhelyi blokkok ❑ Termőhelyenként változó gépüzemeltetés ❑ Termőhely szinten homogén blokkokba szervezett egységes növényállomány térben és időben ❑ A gazdasági értékelés alapja a termés megoszláson alapuló költség / jövedelem viszonyok ❑ A döntési alternatívák száma az elemzés során a térinformatikai eszközök révén a térbeli összefüggéseket kiemelten képes figyelembe venni ❑ Az Információ Technológia a termesztés valamennyi fázisában egységes rendszert alkotva jelen van

6.2. ábra A fontosabb különbségek a hagyományos és a precíziós gazdálkodás között, (Prof. Dr. Tamás János)

„A precíziós mezőgazdaság úgy is felfogható, mint egy térinformatikai alapokon nyugvó mezőgazdasági döntéstámogatási rendszer és gazdálkodási forma, amely figyelembe veszi a termőhely térbeli heterogenitását. Ugyanis az egyes heterogén táblarészek földrajzi pozícióihoz rendeljük hozzá a heterogenitást mérő változót vagy változókat, amely térinformatikai adatbázis (GIS) feldolgozásával történik a változékonysághoz alkalmazkodó technológia tervezése és végrehajtása. Ezért ez a szemlélet alapjaiban különbözik a korábbi, a táblát egyetlen homogén kezelési egységként tekintő gazdálkodástól.” (Nagy, 2004, 14. o.) A precíziós mezőgazdaságot gyakran azokkal az eszközökkel azonosítják, amik azt lehetővé teszik.

Ezek az eszközök természetesen szükségesek, de az általuk gyűjtött információ, és különösen annak megfelelő kiértékelése is kulcsfontosságú. Azok a gazdák, akik hatékonyan tudják felhasználni a kinyert információkat magasabb (avagy minőségibb) terméshozamot tudnak elérni, mint társaik, így egy hatékonyabb, kisebb környezetterhelésű gazdálkodást folytatnak.

A mezőgazdasági termelésben általában nem lehet állandó terméshozammal számolni egy termőföld területén, mivel azt erősen befolyásolja a talaj állapota, valamint a környezeti hatások. A terméshozamokat befolyásoló talajjellemzők a talajtípus, a textúra, a szerkezet, a nedvesség, a szerves anyagok, a tápanyag állapota és a táj fekvése. A környezeti jellemzők közé tartozik az időjárás, a gyomok, a rovarok és a betegségek. Nem lehet minden hatást megelőzni, vagy kiküszöbölni, de bizonyos hatások mérséklése, illetve akár megakadályozása, míg más tényezők javítása jelentősen növelheti a terméshozamot. Emellett a valós idejű adatok segítségével a beavatkozások sokkal pontosabban elvégezhetőek, ezzel javítva a hatékonyságot. Régebben a gazdák ismerték saját területeiket és több évig tartó próbálkozások és hibák után jöttek rá, hogy hogyan lehet az adott területet kezelni. "Apáról fiúra szállt" a gazdálkodási gyakorlat, például adott növénykultúra esetén mikor milyen agrotechnika, mennyi műtrágya mennyiség/hektár stb. szerint gazdálkodjanak. Közben a terepi adatgyűjtés sok időt, drága labortechnikát igényelt. A precíziós mezőgazdaság arra ad egy lehetőséget, hogy információkat tudjunk gyűjteni az adott területről és ezeket képesek legyünk akár automatikusan feldolgozni. A folyamatos adatgyűjtés pedig segíti a változások pontosabb előrejelzését, és a területileg és időben pontosabb beavatkozást. A módszer ezáltal lehetőséget nyújt a gazdáknak arra, hogy megfelelőbben tudják a növényvédő szereket, műtrágyát és öntözővizet felhasználni. A hatékonyabb felhasználásnak köszönhetően a terméshozam mennyisége és/vagy minősége nő, anélkül, hogy a környezetet jobban szennyeznénk. Ráadásul az erősödő környezetvédelmi normák napjainkra a mezőgazdasági termelést is egyre szigorúbb határértékek közé szorítják. Például a múlt hibái révén a hazai talajok egyre többször válnak nitrogén érzékenyvé, mely után már csak kevesebb műtrágya mennyiség kijuttatása engedélyezett. De például a vízhasználatra vonatkozóan is tavaly jelentek meg szigorúbb előírások.

A precíziós mezőgazdaságban rejlő lehetőségek teljes körű kihasználásának azonban jelenleg több akadálya is van. Ilyen a szükséges információkat begyűjteni képes technológia magas ára, illetve az, hogy a megfelelő pontosságú és precízitású információk gyűjtéséhez

további technológiai fejlesztések lehetnek szükségesek. Ugyanakkor további korlátot jelent, hogy az eszközök kezeléséhez, és a segítségükkel nyert adatok kiértékeléséhez új ismeretek szükségesek. Mindez a hazai “előregedett” agrárgazdálkodók szempontjából tovább nehezített. Ezen problémákon az állami agrárprogramok, a támogatási rendszerek megfelelő, célzott kialakítása tud valamelyest segíteni.

Összességében tehát elmondhatjuk, hogy a precíziós gazdálkodási módszerek a növénytermesztésen belül olyan fókusz területekkel foglalkoznak, mint a precíziós tápanyag felhasználás, precíziós növényvédelem, precíziós vízhasználat, de szerepük van az automatizált rendszerek kialakításában is. Lehetővé teszik, hogy egyéb iparágak szolgáltatóként kapcsolódjanak a termelési folyamathoz (távérzékelésre szakosodott vállalatok; informatikai fejlesztő cégek; robotizációval, automatizációval foglalkozó műszaki fejlesztők stb.). Mindezen folyamatokat a Mezőgazdaság 4.0-ként is emlegetik, előrevetítve egy olyan jövőbeli mezőgazdaságot, mely a valós idejű adatgyűjtést egyre jobban a növényi igények felmérésére használja, és automatizáltan, ezen igényekre reagálva avatkozik be.

7. Saját terület drónnal történő felvételezése és kiértékelése

7.1 A saját terület bemutatása

Az általam választott terület, ahol szerettem volna végrehajtani a felmérést a családom tulajdonába tartozik. Ez a terület 1 hektár nagyságú és általában kukoricával, napraforgóval vagy búzával vetjük be. Sajnos ez a terület is nitrátérzékeny terület, ugyanis a szocializmus idején a közelben egy állattartó telepet tartottak fent, mely felelőtlenül túl sok szerves trágyát juttatott a földre. A szerves trágyában található nitrogén miatt a talaj és a felszín alatti víz nitrogén háztartása felborult, így a területen komoly szabályozások vannak érvényben a szerves- avagy műtrágya használatával kapcsolatban. A talaj Arany-féle kötöttségi szám (K_A) értéke 43. Az Arany-féle kötöttségi számból tudunk következtetni a talaj fizikai féleségére. Minél nagyobb a szám annál nagyobb szemcseméretet jelent. A 43-as érték alapján a talaj agyagos, agyagos vályog. A másik fontos talajparaméter a humusz, mely egy szerves anyag, ami a talaj termőképességét befolyásolja. Minél magasabb, annál jobb a talaj minősége. Ezen a területen közepes humusztartalmú a talaj, valamint enyhén bázisos. A terület aranykorona értéke megegyezik az ország átlagos értékkel. Egy másik termőföld, ami szintén a családom tulajdonába tartozik, viszont máshol helyezkedik el egy hektár aranykorona értéke 40, ami azt jelenti, hogy a termőföld minősége kimagasló.

A felvételezéshez egy Parrot Bebop 2 drón-t használtam, melyet a MATE⁶, Műszaki Intézetétől kaptam kölcsön egy LaQuinta multispektrális kamerával. Ezzel begyakoroltam a drónrepülést, és megterveztem az automata repülést. Viszont a jelenlegi pandémiás helyzetre való tekintettel sajnos nem tudtam elkészíteni a multispektrális felvételeket, mivel (ahogy az első felvételből is majd látszik) egyelőre nem volt kiértékelhető a növényzet a területen. Így a nyílt forrású Harvard Dataverse szerveren kerestem hasonló mezőgazdasági területen felvételezett multispektrális felvételeket. A kiválasztott adatcsomag egy DJI Micasense Altum⁷ kamerával készült felvételeket tartalmazott, de emailben is engedélyt kértem a letöltött képek feldolgozására, melyet meg is kaptam a készítőktől. Így ezen fogom bemutatni, hogy a többcsatornás felvételekből hogyan készíthetünk el különböző indexeket, milyen adatokkal segítik ezen kiértékelt felvételek a későbbi mezőgazdasági gyakorlatot.

⁶ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (régábbi nevén Szent István Egyetem)

⁷ <https://micasense.com/sample-data-altum/> (Letöltés ideje 2021.04.16.)

A továbbiakban tehát bemutatom, milyen szempontok szerint célszerű megtervezni egy monitoring drón repülését. Ezt követően az elkészült drón felvételek előfeldolgozását, majd pedig a multispektrális felvételek utófeldolgozására, illetve kiértékelésére fogok kitérni.

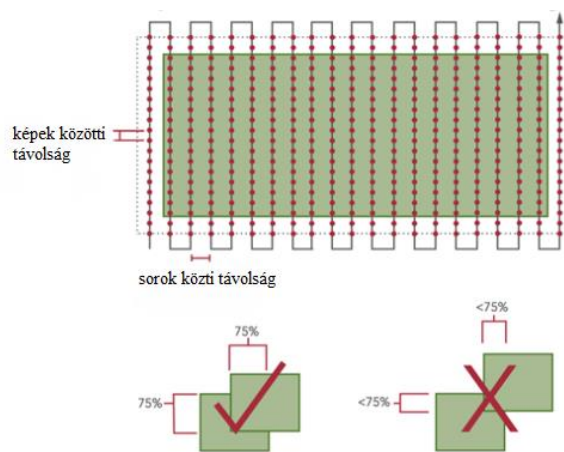
7.2 A repülési útvonal megtervezése

A felvételezéshez többféle programot lehet használni. A nagyobb márkák saját szoftvert javasolnak a repülés, illetve felvételezés támogatására. Ezekben a drónhoz tartozó alkalmazásokban lehet találni olyan funkciót (adott esetben egy fizetős kiegészítő révén), amely alapján a drón egy előre megtervezett útvonalat fog lerepülni, meghatározott feladatokat végrehajtva. De vannak külön speciális programok is, mint például a Pix4D vagy a DroneDeploy. Én a felmérésem során a Pix4D alkalmazást használtam, ugyanis a DroneDeploy jelenleg csak DJI termékeket támogat.

A repülési útvonal megtervezése során a monitorozandó területen a drónunk sorozatfelvételt fog készíteni, ehhez meg kell határozzuk a “sortávolságokat”, illetve minden kép távolságát, melyeket bejárva a képek lefedik majd az egész területünket. A szakirodalmak és dróngyártók ajánlásai szerint ez akkor jó, amennyiben képeink 75%-os fedésben lesznek, mivel így javul az adatok megbízhatósága. Ez tehát az elsődleges szempontunk. Mivel a drónkamerák és szenzorok mára már akár 1 másodperc alatt is képesek a következő fotó elkészítésére, így a következő szempont maga a távérzékelési szenzorunk felbontásából, illetve az igényeink szerint adódó képi felbontás lesz. E két szempont is befolyásolhatja majd, hogy milyen magasságban, illetve sebességgel repüljön a drónunk. Általában elmondható, hogy minél nagyobb magasságban repülünk, annál nagyobb sebességgel tudjuk a felvételezést elvégezni, míg alacsonyabb magasságnál a kisebb sebesség ajánlott. Ezen gondolatot viszont azzal is kiegészíteném, hogy nem szabad elfeledkezni azon fizikai törvényről sem, miszerint a magasság növekedésével a szélesebbesség is exponenciálisan növekszik, mely az érdességtől, azaz a felszíntől is függ. Ezt nevezzük szélprofilnak. Amennyiben kisebb méretű drónunk van, mely érzékenyebb lehet a szél hatásaira, ez is befolyásolhatja a repülési magasság meghatározását (de gondolhatunk itt az akkumulátor kapacitására is, mely gyorsabban fog merülni, amennyiben sokat kell “kiegyensúlyoznia” a drónt a széllal szemben).

A fentiek pontos tervezésében a korábban említett repüléstervezési programok is segítenek. Amivel még kiegészíteném, hogy arra is figyelniünk kell, hogy a távérzékelési szenzor hogyan helyezkedik el a drónon. Adott márkáknál külsőleg helyezik el, mely egy gimbal

szerkezettel 360 fokban forgatható. Más márkáknál pedig a “testen” belül is elhelyezhetik, de ilyenkor is beállítható a pontos kameraszög (ezeknél a típusoknál ráadásul egy kiegészítő “hasi” kamera is általában beépítésre kerül, melyre átvált a felvételezés során, amennyiben derékszögben szeretnénk azokat elkészíteni). Emellett a kiegészítő szenzorok sok esetben külön, akár adott fokban döntött, tartón helyezkednek el. Például a Bebop 2 drónom esetén is 45 fokos, fix tartóállványra lehetett szerelni a LaQuinta multispektrális kamerát. A kameraszöget szintén felszállás előtt kell beállítani (nálam ezt az RGB kamerára tudtam beállítani). Növényzettel borított felszín esetén merőlegesen történő “szkennelés” a legoptimálisabb, míg tükröződő felszínek (pl. víz, üvegburkolatok) esetén inkább a 40-45 fok a javasolt.

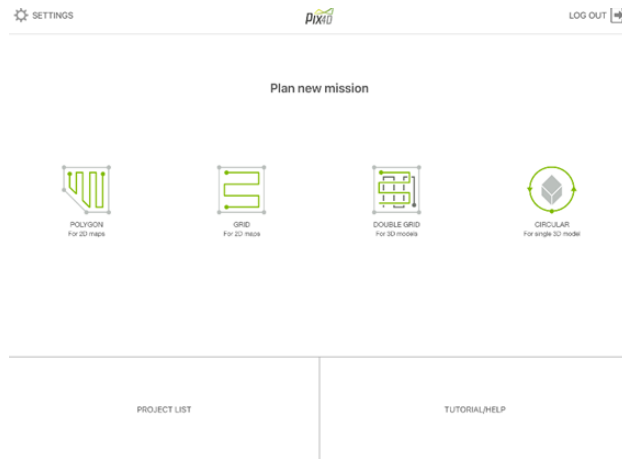


7.2.1. ábra Átfedés a képek között (support.micasense.com)

A felméréshez tehát egy Parrot Bebop 2-es drónt használtam a hozzá tartozó SkyController 2-vel. Ezt a típusú drónt a Pix4D alkalmazása támogatja. Ahhoz, hogy együtt tudjon a drón működni az alkalmazással szükségünk van a SkyController 2 távirányítóra ugyanis, ha manuálisan szeretnénk irányítani drónunkat a folyamat közben például, hogy elkerüljön egy esetleges ütközést, csak a távirányítóval tudjuk ezt végrehajtani, de a “geofencing”⁸ biztonsági beállítások is segítik az ilyen jellegű “balesetek” kivédését.

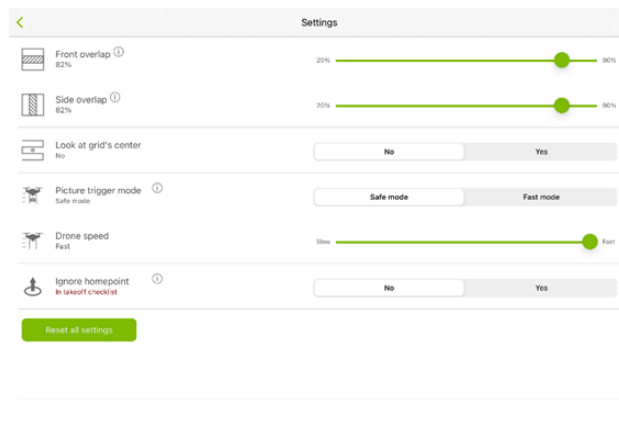
A Pix4D kezelőfelülete felhasználóbarát és könnyen testreszabható.

⁸ geofencing funkciók: azon beállítások, melyeket a kalibráció során, illetve repülés előtt ellenőrizhetünk (bekapcsolhatjuk, módosíthatjuk, avagy kikapcsolhatjuk), ezen funkciók során állítjuk be, hogy mennyire közelítsen meg egyéb tereptárgyakat drónunk. Amiatt fontosak, mert felülírják a kézi irányítást, védve ezzel is eszközünket a balesetek ellen.



7.2.1. ábra Pix4D alkalmazás

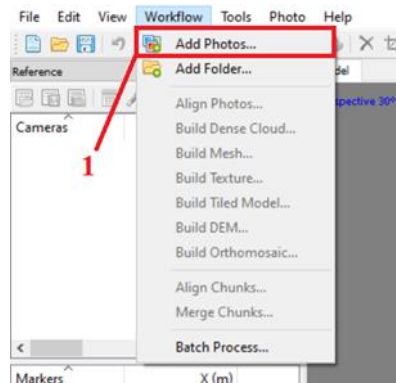
Az alkalmazáson belül ki tudjuk választani, hogy drónunk milyen módszert követve felvételezze a területet. A „Polygon” és „Grid” menüpontban a drónunk egy általunk körbe rajzolt, vagy egy téglalapon belüli területet repül le és készít róla képeket. Míg a „Double grid” és a „Circular” a 3D-s modell készítésére alkalmas felvételeket készít.



7.2.2. ábra A Pix4D beállítás menüpontja

A beállítások között lehet állítani az átfedés mértékét is illetve, hogy a kamera végig a rácsháló közepe felé nézzen avagy változzon adott pontokon, hogy milyen gyorsan haladjon a drón a felvételek elkészítése során és lehetőség van arra is, hogy ignorálja az úgynevezett „homepoint” -ot, vagy azt a pontot, ahonnan felszállt a drón és megkezdte a felmérést. Ilyen repülés során ez is optimalizálja az akkumulátor használatot, illetve mindig nyomonköveti az akkumulátor töltöttségét, így mikor már lemerülne az akkumulátor és visszahozná a drónt a homepointra, a megkezdett felvételezés során inkább adott sor végén landol eszközünk (jelezve nekünk pozícióját), így akkumulátor csere után azonnal tudja folytatni a megkezdett felvételezést. Így nem is kezd bele új sorba, ha nem tudja befejezni, mivel az nehezítené a

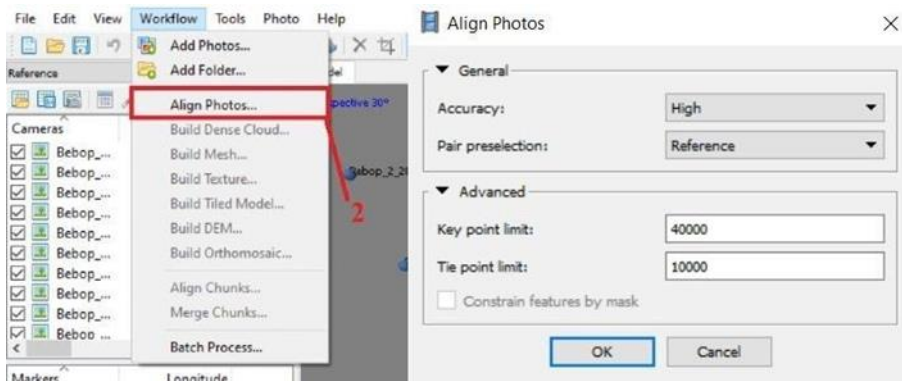
program az Agisoft Metashape program. Mindkét változat segíti a képek összeillesztését, majd akár ortofotó, akár felszínmodell, akár többféle képfórmátumban exportálható az elkészült teljes felvételezésünk a területről. Egyúttal például a multispektrális kamerák radiometrikus korrekcióját is segítik, de ezen lépést akár a későbbi elemzésekhez használt GIS szoftverekkel is elvégezhetjük (pl. QGIS, ArcGis, ENVI stb.)



7.3.1. ábra Fotók hozzáadása az Agisofthoz

Én az Agisoft Metashape-t használtam az összeillesztéshez. A program megnyitása után a „Workflow” menüpontban található „Add Photos...” kiválasztva tudjuk hozzáadni azokat a képeket, melyeket a felmérés során készítettünk. A képek beolvasása után minden képet a pontos helyére kell helyezzünk. A DJI és a Parrot drónok is (különösen az automata repülés során) minden kép metaadataiban tárolja a kép elkészültének koordinátáját, idejét. Adott felmérésekhez emellett egyéb földi kontroll egységet is alkalmazhatunk, melyek GCP pontokként rögzítik egy külön file-ban minden egyes képfelvétel során a drón még pontosabb koordinátáit.

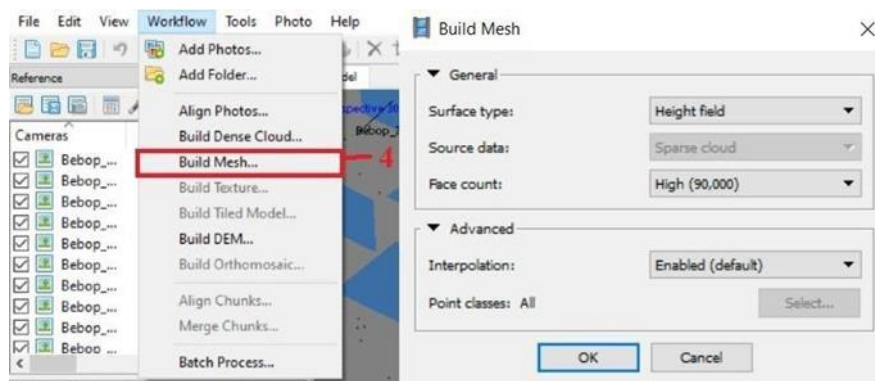
Miután beolvastam a képeket, és mivel nem használtam földi kontrollt, ezért a következő lépés a metaadatok, az egyéb repülési paraméterek alapján, illetve egyéb beépített matematikai megoldások révén (például háromszögelés) egy pontfelhő generálása, azaz minden képet a megfelelő helyére kell illeszteni, a kamera pozíciók pontos helyét fogja tehát egy pontfelhőként legenerálni a szoftver. Erre az ‘Align Photos’ funkciót használjuk. Ez a lépés a legidőigényesebb folyamat, függ a számítások nehézségétől (a metaadatokban milyen adatokat rögzített a drón), a képek mennyiségétől és minőségétől, valamint a számítógép hardver állapotától is. Itt lehetőségünk van arra is, hogy kiválasszuk mekkora pontossággal építse meg a program a felhőt, majd a folyamat lefutása után már látható is az elkészült pontfelhő.



7.3.2. ábra Pontfelhő generálása

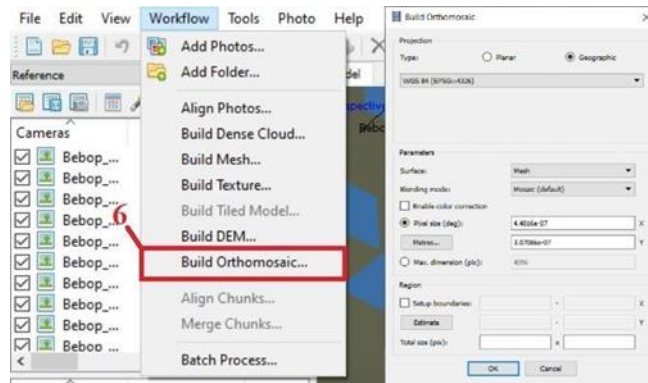
A lefutás után azt is visszanezhetjük a képek „Reference” adatainál, hogy milyen értéket kalkulált a szoftver az adott kamera pozíciónak (mind a hosszúság, szélesség, magasság szempontjából), illetve ezek hibáját is megbecsüli. Ha jól dolgoztunk, ezen hibák nagyon kicsik kell legyenek (cm), amennyiben nagyobb hibát látunk, vagy nagyobb pontossággal célszerű ismét lefuttatni a pontfelhő legenerálását, vagy egyéb optimalizációs megoldásokat is lefuttathatunk az Agisoftban, avagy újra érdemes lehet megismételni a felvételezést. Nálam, mivel a drón minden fontosabb adatot tárolt (automata repülés miatt minden felvételezési pont hosszúsági, szélességi és magassági paramétereit is ismertem), így mm-es nagyságrendű hibával zárult a pontfelhő generálás.

Ezután felépítjük a pontosabb térbeli modellt. Előbb a végleges pontfelhőt építjük fel (Build Dense Cloud), melyhez az előbb kalkulált adatokat építi be a program, majd a pontosabb térbeli modellt építjük fel (Build Mesh).



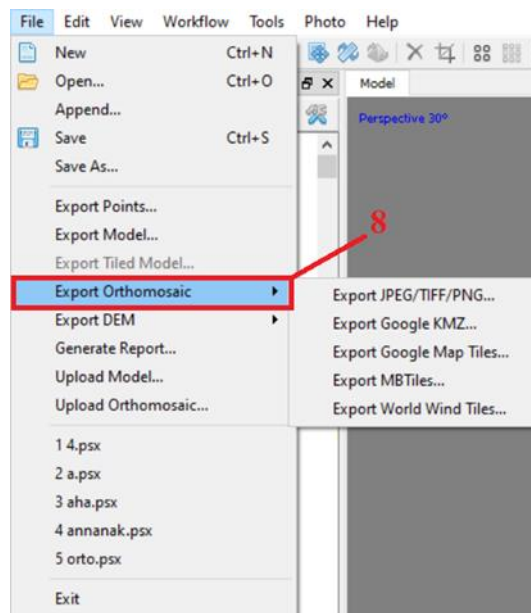
7.3.3. ábra Mesh építése

A mesh generálása egy poligoniális térmodell előállítására szolgál. Ezen belül ki tudjuk választani, hogy milyen típusú a felszín, valamint az interpolációt is eldönthetjük, hogy alkalmazzuk-e.



7.3.4. ábra Ortomozaik készítése

Miután elkészült a mesh és a pontfelhőnk képesek vagyunk akár felszínmodell, akár ortomozaikot készíteni. Itt felkínálja a program, hogy mielőtt nekiállunk a generálásnak mentjük el eddigi munkánkat. A mentést követően a „Build ortomosaic” menüben be tudjuk állítani, hogy milyen vetületű legyen. Meg kell adni, hogy a felszínnél a mesh-t válassza, valamint az összekapcsolás módja mozaik legyen. Lehet állítani a felbontás minőségét, viszont a nagyobb felbontás nagyobb fájlméretet eredményez a végterméknél.



7.3.5. ábra Ortomozaik exportálása

Utolsó lépésként a fájl menüben kiválasztva tudjuk az elkészült ortomozaikot exportálni. Különböző képfarmátumokban is képes a program kimenteni a kész modellt, köztük .kml formátumban is, melyet a Google Maps alkalmaz. Én mivel tovább fogok dolgozni az elkészült képpel, így tiff formátumban mentettem ki az eredményt a GIS szoftverek számára. Az elkészült ortofotót az alábbi képen láthatjuk.



7.3.6. ábra Agisoft-tal készült ortofotó a felvételezett területről

7.4 Multispektrális képek feldolgozása

Mivel a saját területen még nem tudtam volna megfelelően szemléltetni a multispektrális képek jelentőségét, ezért a korábban leírt Micasense Altum kamerával készült képeken mutatnám be, ezek jelentőségét. A felvételek 2018-ban, Washington keleti részén, 120 méteres magasságban, 75%-os átfedéssel készültek el. A felvételeken egy alma és cseresznye ültetvény, komló, és lucerna mező látható.



7.4.1. ábra Mintaterület

Az Altum kamerák 6 csatornás képeket készítenek: zöld, kék, vörös, red edge, infravörös és egy termális csatornán. Ezeket beállítástól függően külön file-ban, avagy egyből egy többszörös rasters képként menti repülés közben. Ezeket szintén először össze kell illesszük akár az Agisoftban, akár a GIS szoftverekben (Merge paranccsal). Én a QGIS nyílt forráskódú szoftvert használtam. A spektrális adatok feldolgozásához, korrekciójához a

Semi Automatic Classification (SCP modul) nevű plugint telepítettem. Ezen plugint alkalmazzák műholdképek hasonló feldolgozásához is, de ezen belül lehetséges akár a különféle képosztályozási megoldások futtatása is.

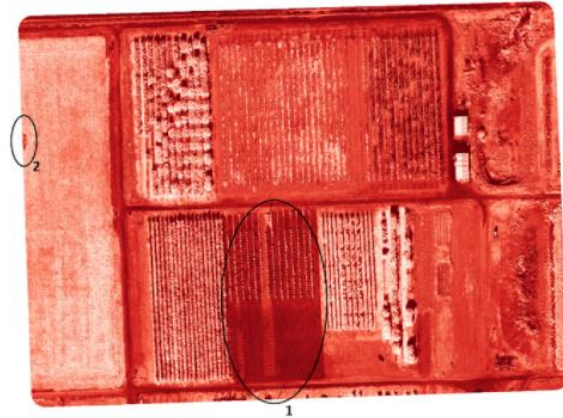
A multispektrális felvételek során első lépés a radiometrikus korrekció, mely során a háttérsugárzás értékeivel korrigáljuk a mért adatokat. Ehhez az Altum különböző lehetőségeket kínál. Egyrészt külön file-ban menti a repülés során jellemző napsugárzás, hőmérséklet adatokat. De külön referencia pannellel is ki lehet egészíteni a mérést, ezzel még pontosabb korrekciót elérve. Emellett ezen folyamat során a digitális adatokból spektrális reflektancia adatokat kapunk. Az SCP modul Band set menüjébe behívva a képet megadtam a csatornák szenzoros spektrális érzékenységet, ezzel is javítva a minőséget.

csatornák	kék	zöld	vörös	red edge	közeli infravörös
hullámhossz (közép)	475 nm	560 nm	668 nm	717 nm	842 nm
sávszélesség	32nm	27nm	16 nm	12 nm	57 nm

7.4.1. táblázat Csatornák adatai

Ezen csatornák (spektrális értékek révén) további elemzéseket tudunk végezni. A 7.4.1. ábrán egy RGB, azaz valós színes felvételt láttunk, de a távérzékelés során sok esetben alkalmazzuk adott csatorna hamisszínes képét. Például a 7.4.2. ábrán ugyanezen terület NIR hamisszínes képét látjuk (5 osztály szerint színeztem). A NIR csatornát akár a felszínek elkülönítése során is használhatjuk, mivel rendkívül egyszerűen elválasztható így akár a természetes növényborítás, a betonfelületek vagy a vízfelszínek egymástól. A 7.4.2. ábrán is egyből élesebben kirajzolódnak az utak, illetve a kép jobb oldalán található épület (vagy tároló). A parcellákon a minél világosabb foltok mutatják a növényzetet (fekete fehér színezés esetén például mindig fehér színt vesz fel, ami természetes anyag és sötétté válik, ha mesterséges). Az 1. ponttal jelzett területen is szépen elválnak egymástól a növény sorok, de azt is szerettem volna szemléltetni itt, hogy mivel sötétebb itt a felszín (az úttal megegyező árnyalat), így valószínűleg valamilyen egyéb mesterséges talajborítást is alkalmaznak. A másik lehetőség a “sötétebb” talajfelszínre, hogy amennyiben vízzel jobban átitatott (pl. épp öntözés utáni a felvétel), akkor ez is sötétebb talajfelszínt ad a NIR csatornán. Az első pont feletti komló mezőn láthatjuk a növényállomány fejlettségében megmutatkozó különbségeket. De ennek jobb szemléltetője a 2. ponton jelzett terület, mely

a növényzet teljes hiányát jelzi. Ez időponttól függően, jelezheti akár az agrotechnika hibáját, vagy valamely talajhibát (például nagyobb talajrög, mely nem került megfelelően elmunkálásra, belvízfolt stb.).



7.4.2. ábra Mintaterület NIR csatorjájának hamisszínes felvétele

A növényzet vizsgálatára a korábban már említett spektrális indexeket is generálhatunk, melyek segítenek a növényi vitalitás, stresszhelyzetek monitorozásában. A QGIS-ben ezen indexeket a ‘Raster Calculator’ menüben tudjuk legenerálni adott csatornák matematikai összefüggéseit alkalmazva, külön tiff. file-ban mentve az elkészült spektrális térképeket, melyek ekkor már egycsatornás raszteres képek.

Az általam bemutatott indexek:

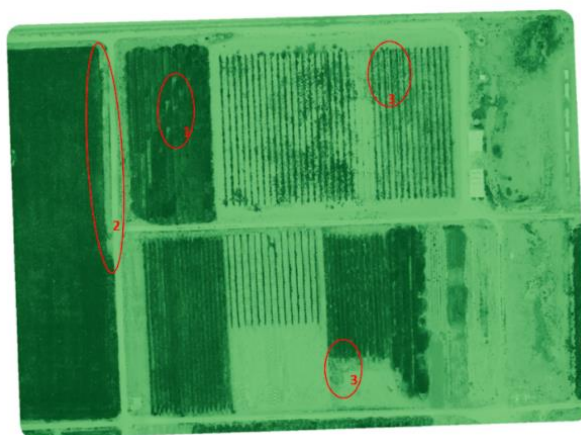
- **NDVI**

A multispektrális felvételeknek köszönhetően a szakemberek egy úgynevezett NDVI (normalized difference vegetation index, vagyis normalizált növényzeti eltérés index) indexet tudnak kiállítani, ami a növény egészségi állapotát mutatja. „Az NDVI-felvételek kiértékelése megmutatja, hogy a növényzet mennyi infravörös fényt ver vissza. A legtöbb közeli infravörös fényt az egészséges növények verik vissza.” (Elliott, 2017, 34. o.) A visszaverődés a növény klorofill tartalmától függ, ugyanis a klorofill a látható fényt jól el tudja nyelni, de az infravörös tartományban már nem képes olyan jól elnyelni, ezért visszaveri azt. Az NDVI előállításához szükséges csatorna a vörös és az infravörös. Úgy lehet előállítani, hogy az infravörösből (NIR) ki kell vonni a vörös (RED) csatornát majd elosztani az infravörös és a vörös összegével.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Az index -1 és 1 közötti értékeket ad vissza a képről. Minél közelebb áll a szám az 1-hez annál egészségesebb a növény. A 0 a csupasz talajt jelenti, vagy a sziklás részt, míg a -1 a vizet ábrázolja. A mezőgazdasági növények általában a 0,4-0,6 érték között mozognak. Kisebb az index értéke abban az esetben, ha a növényzet még kisebb vagy víz-tápanyaghiány lép fel a területen illetve, ha valamilyen betegség, kártevő sújtja. Így az NDVI időbeli monitorozása segíti a korai, célzott beavatkozásokat, akár azelőtt, hogy szemmel láthatóvá válna a romló állapot.

Az elkészült NDVI először egy pánkromatikus (fekete fehér) kép tehát, ezt szintén hamisszínes képként szemléltetem a 7.4.3.ábrán.



7.4.3. ábra NDVI a mintaterületen

A képen minél zöldebb egy felszín annál vitálisabb, egészségesebb növényzet borítja. Szintén alkalmas felszínborítások elkülönítésére is, mint a korábban bemutatott NIR kép. Egy időpillanat ugyan keveset mond még el a területről, mégis akár azonnal láthatóvá válnak a vetési, vagy egyéb agrotechnikai hibák (1. pont, 2. pont). A bal oldali lucernamezőn is láthatunk világosabb foltokat, melyek gyengébb növekedést jeleznek. Elsősorban tápanyaghiányt jelezhet, de ha hasonlóan kisebb NDVI jellemezte tavaly is ugyanezen pontokat, az utalhat talajhibára is. Érdeemes lehet laboros talajvizsgálattal leellenőrizni (de célzottan innen vett mintával), mellyel csökkenthető a talajvizsgálatok száma. Napjaink precíziós gyakorlata az NDVI értékei alapján igyekszik diverzen végrehajtani a nitrogén utánpótlást is, mely például egy nitrogén érzékeny terület esetén különösen fontos. De okozhatja valamilyen egyéb stresszhelyzet is, elsősorban a foltosabb NDVI csökkenés lehet aszály, avagy belvízkár; ha évről évre megjelenik lehetséges egyéb mikroklimatikus hatás (például fagyzugos terület), de jelezhet vadkárt is

(például 2. pont - az állomány szélén fellépő). Ez jelen esetben biztosan nem vadkár mivel nem a mezőgazdasági terület szélén helyezkedik el, de hasonló képpel lehetne jellemezni.

Amennyiben időben változik, nő ezen NDVI csökkenés ez a legtöbb esetben kártevőre utal, ráadásul hamarabb látjuk ezeken a térképeken a terjedés, irányát, ütemét, mint szabad szemmel a szimptomákat. A 3. pontokon a foltszerű nagyobb NDVI jelezhet gyomfoltot. Különösen most, hiszen amennyiben visszanezzük a 10. ábra NIR csatornáját, ott jobban látszanak a növény sorok határai. Azaz a növekvő NDVI érték a talajon kisméretű gyomfoltot jelez, akár a sorokon kívül, akár a sorközökben (felsőbb 3. pont). Amennyiben ez például egy friss vetésen jelentkezne körül lehet a QGIS-ben határolni e foltot és azonnal megadható a pontos területe a foltnak, mely segíti a célzott gyomvédelmi beavatkozást.

Az NDVI ugyan sok esetben nem mondja meg a “hiba” okát, de gyorsabb és célzottabb beavatkozást tesz lehetővé. Ugyanakkor a spektrális adatok más információkat is megmutathatnak. A red edge tartomány jellemzői szintén alkalmazhatók a fenti jellemzésekhez. De egyre több fajra jellemző spektrális értéket is igazolnak mára már a kutatók. Ezeket elsősorban már hiperspektrális kamerákkal tudunk ennyire pontosan mérni, de összességében elmondható, hogy bár minden növényi spektrum hasonló, a red edge tartomány maximuma, meredeksége egyre inkább fajra jellemzőbb, így ezen tartomány elemzése segítheti azon képosztályozási irányokat, melyek célja, hogy adott ismert faj adott tartományú pixelértékét algoritmusok révén minden pixelre vizsgálva kimutatható a faj más területen jellemző jelenléte. Például, ha a fenti kép egészséges cseresznyére jellemző red edge pixel értékeit megtanítjuk a programnak, nagyobb területek spektrális értékeinél is ezt fogja keresni, megmutatva a hasonlóan cseresznyés területeket. Ilyen elven próbálnak természetes vegetációkat, populációs kutatásokat segíteni a távérzékelési adatokkal. Hasonló kutatások indultak már hazánkban is több helyen, például a Pilisben is terveztek hasonló rendszert (egyelőre inkább a multispektrális kamerák alkalmazásával).



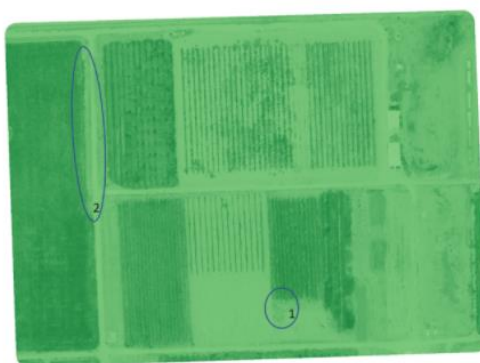
7.4.4. ábra Red edge csatorna hamisszínes képe a mintaterületen

- **NDRE** (Normalized Difference Red Edge)

Az NDRE nagyon hasonlít az NDVI-ra. Abban tér el, hogy itt a számítás során a red-edge sávot vesszük és az infravöröset. A red edge sokkal jobban áthatol a növények levelein, így sokkal jobban alkalmas olyan növényzet alkalmazására, ami már a termény elért egy bizonyos érettséget, ugyanis az NDVI egy szint után már nem tud különbséget tenni, mivel a vörös fény már nem hatol át olyan effektíven a leveleken, míg az NDRE sokkal érzékenyebb.

$$NDRE = \frac{NIR - RED\ EDGE}{NIR + RED\ EDGE}$$

Az NDRE magában is használható indexként, de alkalmazhatjuk az NDVI-al együtt, így nyomon lehet követni a növény teljes periódusát.

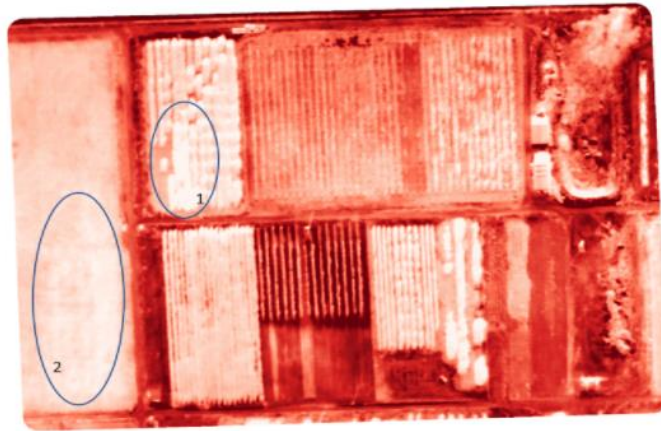


3.4.5. ábra NDRE hamisszínes képe a mintaterületen

A 7.4.5. ábrán láthatjuk az NDRE hamisszínes képét. Ezen is jelöltem a korábban már említett agrotechnikai, avagy gyomfoltosodási részeket.

- a termális csatorna

A termális csatorna szintén egyre fontosabb szerepet tölt be a növényvizsgálatok során (7.4.6. ábra).



7.4.6. ábra Termális felvétel a mintaterületen

Szintén alkalmas felszínborítás vizsgálatára, mivel a mesterséges felszínek (betonelemek, útburkolatok stb.) általában magasabb felszínhőmérséklettel rendelkeznek. A másik fontos terület és a mezőgazdaság is egyre inkább alkalmazza, az a vízzel összefüggő vizsgálatok. Például azon talaj, mely nedves jóval alacsonyabb hőmérsékletű lesz, mivel a víz hőelnyelése magas. Így hamarabb látszik akár a belvíz folt, minthogy “feltörne” a víz a felszínre, de ezen szempont megfordítása az aszálykárok területi becsléséhez is használható. A harmadik fontos irány pedig maga a növényzet vizsgálata a termális csatornán. Az elv lényege azon nyugszik, hogy egy egészséges növény a párologtatás révén segíti az anyagtranszportot, mely a fotoszintézis szempontjából is fontos. Így amennyiben megfelelő a vitalitás, úgy alacsonyabb felszínhőmérséklet fogja jellemezni, mint a talajfelszín. Egyrészt így itt is azonnal láthatóvá válnak az agrotechnikai hibák (hibás vetés stb.), másrészt egy állományon belül gyorsabban jelzi a termális kép a stresszhelyzeteket (tápanyag, kártevő stb.).

Az adatok feldolgozását a szenzor gyártói adatait és ajánlását használva először Celsius adatokra váltottam, mely lépéshez a QGIS, Raster calculator parancsát használva megadtam a szükséges átszámítási algoritmust, mely minden pixelre átváltotta az adatokat és egy új fájlba mentette az új rétegem. A kép kiértékelése során az 1. ponton szerettem volna szemléltetni, hogy a legvilágosabb rész a vitális fákkal borított terület, de ugyanitt egyből látszanak a fahiányok is. A 2. ponton pedig azt szerettem volna szemléltetni, hogy egy állományon belül (jelen esetben lucerna) is kirajzolódhatnak különbségek. A berajzolt 2. térrészben jóval alacsonyabb a növényi felszínhőmérséklet, mint balra felfelé haladva. Ha

visszanézzük a korábbi NDVI, red edge, NDRE képeinket, kevésbé rajzolódik ki ezen különbség. Ez ugyanakkor jelezheti, hogy a bal sarok felé haladva a növényzet nem párologtat ugyanolyan mértékben, vagy valamely tápanyag vagy vízhiány okozta stressz miatt, vagy egyúttal kevésbé fejlett vagy "ritkásabb" az állomány, bár ezen utóbbi megállapításokat már az NDVI képeken is különbségként látnunk kellett volna. Így valószínűbb, hogy valamely tápanyag vagy vízhiány áll a háttérben. Az mindenképpen fontos, hogy amennyiben ezek stresszhelyzet sokáig fennáll, úgy idővel a többi képen is megjeleik az állomány fejlődésében jelentkező változás, míg legvégül már szabad szemmel is látjuk és mérjük, hogy kevesebb hozamunk lett ezeken a sorokon.

Csak érdekességből jegyezném meg, hogy a termális kép alapján az is feltűnhet, hogy a jobb felső sarok felé lévő épület, vagy tároló valószínűleg nem betonból épült, mivel ennek hőmérséklete is kisebb, mint az utak hőmérséklete.

8. Összegzés

Dolgozatom kezdetén azt a célt tűztem ki, hogy bemutatom hogyan néz ki egy teljes monitoring folyamat napjainkban a mezőgazdaságban. Hogyan lehetne egy termelőnek vagy mezőgazdasági szakembernek egy drónt arra alkalmaznia, hogy olyan adatokat szerezzen, ami csak multispektrális kamerákkal lehetséges és ezeket az adatokat milyen módon tudja feldolgozni.

Számomra ez volt az első alkalom mikor egy teljes felmérést önállóan kellett elkészítenem egy multispektrális kamera segítségével, így én is ugyanazokkal a nehézségekkel találtam szembe magam, mint egy termelő vagy mezőgazdasági szakember, aki először szeretne ilyen technológiát alkalmazni viszont eddig még nem is használta. Kezdve a megfelelő repülés megtervezésétől a képek utófeldolgozásáig. Dolgozatom eredményeként sikerült elkészítenem egy terület teljes lerepülését, mindazonáltal megismerkedtem azokkal az alkalmazásokkal, amelyek segítik a felhasználót és automatizálják a repülést. A repülést követően sikerült elkészítenem a terület ortomazikját, amin sajnos nem volt még elegendő mennyiségű adat a felhasználáshoz, de bemutattam, hogyan lehet a folyamatot végrehajtani. Sajnálatos módon a saját multispektrális felvételeimet nem tudtam elkészíteni, de a nyílt forrású adatokon szemléltettem a különböző indexek előállításának módját. Az elkészült képek alapján pedig egy leírást készítettem a területről, amit csak ezeken a képeken figyelhetünk meg.

Természetesen saját multispektrális adatokat szerettem volna dolgozatomban feldolgozni, de a jelenlegi pandémia miatt ezekre nem volt alkalmam. Az általam bemutatott felhasználási lehetőségek csak egy kis töredéke a multispektrális kamerák alkalmazásának a mezőgazdaságban. Megannyi másik index áll rendelkezésre, amik más adatok bemutatására alkalmasak, mint például nem csak a növényzetet lehet vizsgálni, hanem magát a talajt, a vízháztartást, valamint a kártevők elleni védekezést lehet fejleszteni. Emellett a több spektrummal rendelkező kameráknak köszönhetően még több adat nyerhető ki, mivel bizonyos indexekhez csak adott hullámhossz tartomány a megfelelő, tehát minél több hullámhossztartományban észlel a kameránk annál több adatot nyerhetünk ki egy repülés során. A drónok különböző típusai is kezdenek megjelenni, amik csak mezőgazdasági használatra lettek fejlesztve. A nagyobb gyártók, mint például a dolgozatban korábban bemutatott DJI már készít csak multispektrális kamerával felszerelt mezőgazdasági drónt, de a Parrot is gyárt termális kamerával ellátott drónokat, amit a mezőgazdaságban is lehet

alkalmazni. Ezeknek a drónoknak a fejlesztése és a szektor további részeinek fejlesztése eredményeképpen az agrárdigitalizáció mértéke egyre nagyobb és így közelebb kerülünk a mezőgazdaság 4.0 megvalósításához, ahol az eszközök képesek egymással kommunikálni és egy számítógép-vezérelt rendszer követi nyomon a mezőgazdasági folyamatokat és döntenek a beavatkozásról.

9. Felhasznált irodalom

- Alex Elliott: Drónok kézikönyve, CSER Kiadó, 2017
- Ishimwe, R., Abutaleb, K. & Ahmed, F. (2014) Applications of Thermal Imaging in Agriculture—A Review. *Advances in Remote Sensing*, 3, 128-140.
- Jeongeun, K., Seungwon, K., Chanyoung J. & Hyoung, Il S., (2019): Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications. *IEEE Access*, 7, 105100 – 105115
- Kallimani, C., Dehkordi, R. H., K. van Evert, F., Kooistra, L., Rijk, B., (2020): UAV-based Multispectral & Thermal dataset for exploring the diurnal variability, radiometric & geometric accuracy for precision agriculture, *ODjAR Dataverse*, 6, 1-7
- Mahadevan, P., (2010): The Military Utility of Drones. *CSS Analyses in Security Policy*, 78.
- Nagy, S. (2004): A gyomfelvételezési módszerek fejlesztése a precíziós gyomszabályozás tervezéséhez (Doktori értekezés, Nyugat-magyarországi egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi kar, Növényvédelmi Tanszék)
- Neigh, S.R. C., Carroll, L. M., Wooten, R. M., McCarty, L. J., Powell F. B., Husak, J. G., Enekel, M. & Hain, R. C., (2018): Smallholder crop area mapped with wall-to-wall WorldView sub-meter panchromatic image texture: A test case for Tigray, Ethiopia, *Remote Sensing of Environment*, 212, 8-20
- Prisacariu, V., (2017): The history and the evolution of UAV's from the beginning till the 70s. *Journal of Defense Resources Management*, 8, 181-189.
- Tang, Y., Chen, M., Wang, C., Luo, L.; Li, J., Lian, G. & Zou, X. (2020): Recognition and Localization Methods for Vision-Based Fruit Picking Robots: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 11
- Prof. Dr. Tamás János: Precíziós mezőgazdaság
- https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_tamas/adatok.html (Letöltési idő 2021.04.10)
- Belényesi, M., Burai, P., Czimber, K., Király, G., Kristóf, D. és Tanács, E., (2013): Távérzékelési adatok és módszerek erdőterképezési célú felhasználása <https://docplayer.hu/2952328-Taverzekelesi-adatok-es-modszerek-erdoterkepezesi-celu-felhasznalasa.html> (Letöltési idő 2021.04.12.)
- <https://micasense.com/sample-data-altum/> (Letöltés ideje 2021.04.16.) E-mail egyeztetés a MicaSense support központjával
- <https://legter.hu/blog/dron-torveny-2021-erthetoen-szakertoktol/> (Letöltési idő 2021.04.03.)
- <https://www.practicalecommerce.com/8-commercial-drone-delivery-companies> (Letöltési idő 2021.03.10.)
- <https://www.statista.com/statistics/1200348/drone-market-revenue-worldwide/> (Letöltési idő 2021.03.18.)
- <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html> (Letöltési idő 2021.03.02.)
- <https://www.who.int/news/item/11-09-2018-global-hunger-continues-to-rise---new-un-report-says> (Letöltési idő 2021.03.02.)

9.1 Ábrajegyzék

- 2.1. ábra Kettering Bug modell (Greg Hume)
- 2.2. ábra Vergeltungswaffe-1 (Amerika Egyesült Államok Légierője, USAF)
- 2.2.1. ábra Merevszárnyas és rotoros drón (Parrot)
- 2.5.1. ábra Axis Vidus drón (pcworld.hu)
- 2.5.2. ábra Global Hawk (Amerika Egyesült Államok Légierője, USAF)
- 4.1. ábra Drónok alkalmazási területei
- 4.2.1. ábra DJI Phantom 4 multispektrális drón (DJI)
- 4.3.1. ábra UPS Flight Forward (UPS)
- 5.1. ábra Az elektromágneses spektrum felosztása (Mindentudás Egyeteme)
- 6.1. ábra Precíziós mezőgazdaság
- 6.2. ábra A fontosabb különbségek a hagyományos és a precíziós gazdálkodás között, (Prof. Dr. Tamás János)
- 7.2.1. ábra Átfedés a képek között (support.micasense.com)
- 7.2.2. ábra Pix4D alkalmazás
- 7.2.3. ábra A Pix4D beállítás menüpontja
- 7.2.4. ábra Repülési terv
- 7.3.1. ábra Fotók hozzáadása az Agisoft-hoz
- 7.3.2. ábra Pontfelhő generálása
- 7.3.3. ábra Mesh építése
- 7.3.4. ábra Ortomozaik készítése
- 7.3.5. ábra Ortomozaik exportálása
- 7.3.6. ábra Agisoft-tal készült ortofotó a felvételezett területéről
- 7.4.1. ábra Mintaterület
- 7.4.2. ábra Mintaterület NIR csatornjának hamisszínes felvétele
- 7.4.3. ábra NDVI a mintaterületen
- 7.4.4. ábra Red edge csatorna hamisszínes képe a mintaterületen
- 4.4.5. ábra NDRE hamisszínes képe a mintaterületen
- 7.4.6. ábra Termális felvétel a mintaterületen

9.2 Táblázat

- 7.4.3. táblázat Csatornák adatai

10. Köszönetnyilvánítás

Szeretném hálámat kifejezni konzulensemnek Varga Zsófiának, aki segített abban, hogy diplomamunkám olyan formában elkészülhessen, ahogy szerettem volna. Valamint szeretném megköszönni a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Műszaki Intézetének, hogy biztosították számomra az eszközöket. Továbbá szeretném köszönömet kifejezni a szüleimnek, akik támogattak végig az egyetemi éveim alatt. És végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni barátomnak Krattinger Ádámnak a segítséget, amit nyújtott a szakdolgozatom elkészülése alatt.

11. Nyilatkozat

Alulírott, TÓTH IZSAK..... nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2021. május 15.

Tóth Izsa
a hallgató aláírása